Jari Laksi

LOISTEHON KOMPENSOINNIN OPTIMOINTI ORAKSEN TEHTAALLA

Sähkötekniikan koulutusohjelma

2015

samk
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Satakunta University of Applied Sciences

LOISTEHON KOMPENSOINTI ORAKSEN TEHTAALLA

Laksi, Jari
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Syyskuu 2015
Ohjaaja: Nieminen, Esko
Sivumäärä: 35
Liitteitä: 7

Asiasanat: loisteho, kompensointi

Työn tarkoituksena oli tutkia Oras Oy:n Rauman kiinteistön kompensointia ja siinä ilmenneitä ongelmia. Tarkoituksena oli myös selvittää, tarvitsevatko Oraksen muuntamoilla olevat kompensoinnit päivittämistä.

Muuntamoilla suoritettiin useita mittauksia energia-analysaattorilla ja tuloksina saatiin selville muuntamoiden pätö- ja loistehot, verkon tehokerroin ja kokonaisjännitesäröprosentit. Mittaustulosten avulla saatiin ongelmia aiheuttanut vika korjattua ja saatiin selvyys kompensoinnin toiminnasta.

Työn tarkoituksena on tarjota asiakkaalle kattava suunnitelma kompensointien toiminnasta yleisesti ja tarvittavista muutoksista.

REACTIVE POWER COMPENSATION IN ORAS LTD

Laksi, Jari
Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences
Electrical engineering
September 2015
Supervisor: Nieminen, Esko
Number of pages: 35
Appendices: 7

Keywords: reactive power, compensation

The purpose of this thesis was to investigate Oras Ltd Rauma property compensation and the problems that had appeared. Purpose was also to find out the necessary updates in compensation of Oras substations.

Measurements were made with energy analyzer and results found out active power, reactive power, power factor and total harmonic distortion in substations. Measurement results help to solve problems in compensation and also help to see needed updates.

Purpose of the thesis was to offer the customer a comprehensive plan how compensation works and what is needed to upgrade.

SISÄLLYS

1 JOHDANTO 5
2 LOISTEHO KÄSITTEENÄ 6
2.1.1 Kompensoinnin hyödyt 6
2.1.2 Alikompensointi 7
2.1.3 Ylikompensointi 8
2.1.4 Esimerkki loistehon vaikutuksesta verkon kuormitukseen 8
3 SÄHKÖN LAATU 10
3.1 Yliaallot 10
3.2 Jännitteenalenema 10
4 KOMPENSOINTITAVAT JA – LAITTEET 11
4.1 Laitekohtainen kompensointi 11
4.2 Ryhmäkohtainen kompensointi 11
4.3 Keskitetty kompensointi 12
5 KOMPENSOINTIPARISTO 12
5.1 Estokeloparisto 13
5.1.1 Estokelapariston rakenne 13
6 MITTAUKSET 14
6.1 Ongelma kompensoinnissa 15
6.2 Muutokset Muuntamo3:lla 16
6.3 Ongelman syy 18
6.4 Mittaustulokset kompensointipariston poiston jälkeen 18
7 MITTAUKSET MUISSA MUUNTAMOISSA 19
7.1 Muuntamo 1 20
7.2 Muuntamo 4 22
7.3 Muuntamo 6 – Muuntaja 6.1 23
7.3.1 Yliaaltomittaukset 25
7.4 Muuntamo 6 – Muuntaja 6.2 27
7.5 Muuntamo 7 – Muuntaja 7.1 30
7.6 Muuntamo 7 – Muuntaja 7.2 31
8 PÄÄTELMÄT 32
LÄHTEET 35
LIITTEET

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan Oras Oy:n Rauman tehtaan kompensointia, sen vikoja ja mahdollisia päivittämistarpeita. Kompensoinnissa on jonkin aikaa jatkunut vika, joka hälyttää aina viikonloppuisin. Tarkoituksena on selvittää ongelman syy, korjata se ja lisäksi kartoittaa ja optimoida nykyiset kompensoinnit.

Työssä keskitytään kompensointiin yleisesti, sen toimintaan ja tarkoitukseen yrityksen pienjänniteverkossa.

Työssä käsiteltävä tehdas pitää sisällään viisi muuntamoa ja yhteensä seitsemän 20kV:n muuntajaa. Näin ollen myös automaattisesti säätyviä kompensointiratkaisuja on seitsemän kappaletta. Tehtaan kompensointeja on joillakin muuntamoilla päivitetty nykyaikaisiksi, mutta muutamissa muuntamoissa on käytössä vielä vanhoja kompensointikondensaattoreita. Kuorma tehtaassa muodostuu muun muassa valukoneista, työstökoneista, suuritehoisista tasasuuntauslaitteistoista, paineilmaverkostosta, ilmanvaihdoista ja valaistuksesta.

Mittaukset suoritettiin energia-analysaattorilla arkena ja viikonloppuina. Tuloksina saatiin jokaisella muuntajalla verkon pätö- ja loisteho, tehokerroin sekä muutamalla muuntajalla jännitesäröprosentti.

2 LOISTEHO KÄSITTEENÄ

Kulutuslaitteet kuten esimerkiksi moottorit, valaisimet ja muuntajat toimivat sähköverkosta saatavalla pätöteholla, mutta toimiakseen ne tarvitsevat pätötehon lisäksi vielä loistehoa. Esimerkiksi 1,5kW:n oikosulkumoottori, jonka hyötysuhde on 0,74 ja tehokerroin 0,71, ottaa verkosta loistehoa alla olevan kaavan mukaan 2,01kVar:a tunnissa. (ST-kortisto ST 52.15)

$$\frac{P}{\eta} = P_1 \rightarrow \frac{P_1}{cos\varphi} = S \rightarrow \sqrt{S^2 - P^2} = Q \qquad (1)$$

jossa

η	=	hyötysuhde
cosφ	=	tehokerroin
S	=	näennäisteho
P	=	pätöteho akseli
P_1	=	pätöteho otto
Q	=	loisteho

Loistehoa tarvitaan laitteissa pääosin niiden tarvitseman magneettikentän ylläpitämiseen. Pätöteho ja loisteho muodostavat yhdessä verkkoa kokonaisuudessaan kuormittavan näennäistehon. Näennäisteho ja siihen vaikuttava virta lasketaan alla olevien kaavojen mukaan.

$$\sqrt{P^2 + Q^2} = S \rightarrow \frac{S}{\sqrt{3} * U} = I \qquad (2)$$

jossa

U	=	jännite
I	=	virta

2.1.1 Kompensoinnin hyödyt

Oikein mitoitettu loistehon kompensointi pienentää verkon kokonaisvirtaa, joka taas parantaa pätötehon siirtokykyä. Siirtokyvyn huonontuessa pätötehohäviöt ilmenevät

ylimääräisenä lämpenemisenä. Pätötehohäviöt ovat suoraan verrannollisia virran toiseen potenssiin, kaavan 3 mukaan. (Tehohäviöt, Korpinen, 4)

$$P_h = 3 * I^2 * R \qquad (3)$$

jossa
P_h = pätötehohäviö
I = virta
R = resistanssi

Toinen oikeanlaisesta kompensoinnista saatava hyöty on jännitteenaleneman vähene-minen. Kun loisvirta saadaan minimoitua, pienenee myös verkon kokonaisvirta ja näin ollen verkon jännite alenee vähemmän kuormituksen pienentyessä. Jännitteenalenema saadaan likimäärin alla olevasta yhtälöstä. (ST-kortisto ST 52.15)

$$U_a = R * I_p + X * I_q \qquad (4)$$

jossa
U_a = jännitteen alenema
R = verkon resistanssi
I_p = pätövirta
X = verkon reaktanssi
I_q = loisvirta

2.1.2 Alikompensointi

Alikompensointi on tilanne jossa verkon tarvitsemaa loistehoa ei saada riittävästi verkkoon sijoitetuilla kompensointiratkaisuilla. Alikompensoitu verkko ottaa tällöin tarvitsemansa loistehon energiayhtiön verkosta. Kun loistehoa tuotetaan verkkoon tarvittavaa vähemmän, kutsutaan sitä induktiiviseksi loistehoksi. Energiayhtiö sallii 20 prosentin induktiivisen loistehon suhteessa otetun pätötehon arvoon. (Yliaallot ja kompensointi, STUL 2006, 2)

2.1.3 Ylikompensointi

Ylikompensointi on tilanne jossa verkossa olevat kompensointiratkaisut tuottavat enemmän loistehoa kuin olisi tarpeen. Tällöin loistehon suunta muuttuu ja ylimääräinen loisteho siirtyy energiayhtiön verkkoon. Kun loistehoa tuotetaan verkkoon tarvittavaa enemmän, kutsutaan sitä kapasitiiviseksi loistehoksi. Energiayhtiö sallii 5 prosentin kapasitiivisen loistehon suhteessa otetun pätötehon arvoon. (Yliaallot ja kompensointi, STUL 2006, 2)

2.1.4 Esimerkki loistehon vaikutuksesta verkon kuormitukseen

Loistepurkausvalaisimien tehokerroin ilman sisäänrakennettua kompensointia on 0,5. Näin ollen esimerkiksi 3kW:n kuorma loistepurkausvalaisimia kuormittaa johtimia kaavojen 1 ja 2 mukaan, 15 ampeeria.

$$\frac{3kW}{0{,}5} = 6kVA\ ,\ \frac{6000VA}{\sqrt{3}*230V} = 15A \qquad (5)$$

Oletetaan että kyseisen loistepurkausvalaisinkuorman kaapelin pituus on 100 metriä ja kaapelina käytetään MMJ 3*1,5S tyyppistä kaapelia. Näin ollen saadaan kaapelin resistanssi laskettua pätötehohäviöiden selvitystä varten. Lasketaan kaapeliresistanssi kaavan 6 mukaan. (Johdon ja sen ylivirtasuojan mitoitus, 2004, 1)

$$\rho * \frac{l}{A} = R \qquad (6)$$

jossa

ρ	=	aineen ominaisresistanssi
l	=	johtimen pituus
A	=	johtimen poikkipinta-ala
R	=	kokonaisresistanssi

$$0{,}0168 * 10^{-6} * \frac{100m}{0{,}0000015m^2} = 1{,}12\Omega \qquad (7)$$

Kaapelin resistanssin laskemisen jälkeen saadaan laskettua pätötehohäviöt alla olevalla kaavalla ja kertomalla kyseinen tulos vielä vuotuisella tuntimäärällä, saadaan kulutus yhden vuoden jatkuvalla käytöllä. (Tehohäviöt, Korpinen, 3)

$$15A^2 * 1{,}12\Omega = 252W \quad (8)$$

$$252W * 24h * 365 = 2207{,}5kWh/\text{a} \quad (9)$$

Kun taas 3kW:n kuorma vastaavia loistepurkausvalaisimia, joihin on asennettu kondensaattori parantamaan valaisimen tehokertoimen 0,9:ään, kuormittaa johtimia 8,4 ampeeria.

$$\frac{15kW}{0{,}9} = 3{,}333kVA \rightarrow \frac{3333VA}{\sqrt{3}*230V} = 8{,}4A \quad (10)$$

Tilanne oletetaan täysin vastaavaksi joten kaapelin resistanssi säilyy samana. Näin ollen pätöteho häviöt ja vuotuinen kokonaispätötehohäviö saadaan seuraavasti.

$$8{,}4A^2 * 1{,}12\Omega = 79W \quad (11)$$

$$79W * 24h * 365 = 692{,}3kWh/\text{a} \quad (12)$$

Tuloksista nähdään hyvin miten johtimien kuormittaminen heikentää pätötehon siirtokykyä ja näin ollen aiheuttaa ei toivottuja häviöitä. Lasketut pätötehohäviöt ilmenevät siis kaapelien lämpenemisenä ja siten ylimääräisenä kuluna sähköverkossa. Suurissa kiinteistöissä ja teollisuuslaitoksissa voidaan lähelle kulutusta sijoitetulla kompensoinnilla säästää vuositasolla suuria summia rahaa.

3 SÄHKÖN LAATU

Sähkönlaatua huonontavia tekijöitä on useita. Oikeanlaisella kompensoinnilla niistä muutamia voidaan rajoittaa.

3.1 Yliaallot

Sähköverkossa esiintyy harmonisia ja epäharmonisia yliaaltoja. Harmonisilla yliaalloilla tarkoitetaan normaalin käyttötaajuuden, eli 50Hz:n kerrannaisia ja epäharmonisilla vastaavasti yliaaltoja, joita esiintyy muualla kuin 50Hz:n kerrannaisissa. Yliaallot muodostavat verkkoon ylijännitteitä, joiden summaa kutsutaan kokonaisjännitesäröksi (THD). Kokonaisjännitesärö ilmoitetaan aina prosentteina esiintyvien yliaaltojen suhteena normaaliin sinimuotoiseen aaltoon. Suositeltu raja kokonaisjännitesärölle on 3 %:a. Rajan ylittyessä suositellaan asennettavaksi jokin yliaaltosuodatin, esimerkiksi estokelaparisto. Estokelaparistoista lisää luvussa 5.1. Yliaallot aiheuttavat verkkoon erilaisia toimintahäiriöitä ja laiterikkoja sekä ylimääräisiä teho- ja jännitehäviöitä. Yliaaltojen aiheuttamat häiriöt verkossa ovat hankalia havaita ja diagnosoida, vaikka vikoja laitteissa esiintyisikin useasti. Yleisesti ongelmaa etsitään aina kuitenkin hajonneesta laitteesta, eikä syöttävästä verkosta. Yliaaltoja verkkoon synnyttäviä laitteita ovat muun muassa tasasuuntaajat ja taajuusmuuttajat. Tasasuuntaajan aiheuttamat yliaallot muodostuvat niiden sisältämistä hakkuriteholähteistä. (ST-kortisto ST 52.51.03)

3.2 Jännitteenalenema

Sähköverkon jännite muuttuu kuormitustilanteesta riippuen aina jonkin verran. Standardissa määritetty jännitteen maksimialenema syöttävän verkon liittymiskohdassa on 10 prosenttia. Jännitteen alentuessa laitteistot tarvitsevat toimiakseen enemmän virtaa, tämä aiheuttaa verkkoon suuremman kuormituksen. Kuormituksen kasvaessa myös tehohäviöt kasvavat. Jännitteenalenema kaapelissa saadaan laskettua kaavan 13 mukaan. (ST-kortisto ST 52.51.02)

$$\Delta U = I * cos\varphi * r * l + sin\varphi * x * l \qquad (13)$$

jossa

ΔU	=	jännitteen alenema
I	=	kuormitusvirta
φ	=	jännitteen ja virran välinen vaihesiirtokulma
r	=	johtimen resistanssi pituusyksikköä kohti
x	=	johtimen reaktanssi pituusyksikköä kohti
l	=	johtimen pituus

Jännitteenalenemaa sähköverkossa saadaan pienennettyä esimerkiksi moottoreiden suorakäynnistysten muuttamisella taajuusmuuttajalla, pehmokäynnistimellä tai tähti-kolmio-käynnistimellä toimivaksi. Muiltakin osin, suurien piikkien minimoiminen auttaa jännitteen pitämisessä normaalilla tasolla.

4 KOMPENSOINTITAVAT JA – LAITTEET

4.1 Laitekohtainen kompensointi

Laitekohtainen kompensointi toteutetaan asentamalla sähkölaitteeseen, kuten moottori tai purkausvalaisin, kondensaattori, joka tuottaa laitteen vaatiman määrän loistehoa. Näin toteutettuna loistehoa ei tarvitse kuljettaa pitkiä matkoja laitteelle ja pätötehohäviöt pysyvät minimissään. Laitekohtainen kompensointi on kuitenkin poistumassa käytöstä sen hankalan ylläpidon vuoksi. Suositus onkin, että uudisasennuksissa laitekohtaista kompensointia ei käytettäisi ollenkaan. (ST-kortisto ST 52.15)

4.2 Ryhmäkohtainen kompensointi

Ryhmäkompensointi on vastaavalla tavalla toteutettu kuin laitekohtainenkin, mutta hieman suuremmalla mittakaavalla. Ideana on siis asentaa kolmivaiheryhmään, jota kytketään päälle ja pois samanaikaisesti, kondensaattori, joka tuottaa ryhmään sen tarvitseman määrän loistehoa. Ryhmäkohtaista kompensointia ei siis voida käyttää mikäli esimerkiksi moottoreita ohjataan päälle ja pois eriaikaisesti. Kompensointi sijoitetaan

ryhmäkeskukseen tai ryhmäjohtoon. Ryhmäkohtaisesta kompensoinnista on laitekohtaisen kompensoinnin tapaan pyrittävä eroon vanhoissa asennuksissa sen hankalan ylläpidon vuoksi ja uudisasennuksissa sitä ei tulisi käyttää ollenkaan. (ST-kortisto ST 52.15)

4.3 Keskitetty kompensointi

Keskitetty kompensointi on yleisin ja käytännössä paras vaihtoehto kompensoinnin toteutukselle. Keskitetyn kompensoinnin oikeanlaista toimintaa on helpompi seurata ja sen ylläpito ei ole hankalaa. Vanhat keskitetyt kompensoinnit on toteutettu kiinteillä kondensaattoreilla, jotka on asennettu pää- tai ryhmäkeskukseen, tai tarvittaessa molempiin. Nykyisin pelkkiä kondensaattoreita ei saa asentaa sellaisenaan kompensoimaan verkkoa vaan kompensointi tulee toteuttaa automaattisesti säätyvillä kompensointiparistoilla, esimerkiksi estokelaparistoilla. Vanhat kiinteästi asennetut kompensointikondensaattorit saa kuitenkin käyttää loppuun, mikäli verkon haltia kokee sen tarpeelliseksi, mutta tämä saattaa kuitenkin aiheuttaa ylikompensointitilanteita kulutuksen pienentyessä tai muita ongelmia verkon jännitteen laadussa. (ST-kortisto ST 52.15)

5 KOMPENSOINTIPARISTO

Muuntamoon tai pääkeskukseen sijoitettavat, keskitetyt kompensoinnit on nykyisin toteutettu verkon loistehontarpeeseen mitoitetulla automaattisesti säätyvillä kompensointi- tai estokelaparistoilla. Etuina entisiin, kiinteisiin kompensointikondensaattoreihin on nykyinen automatiikka ja pariston kondensaattoriportaat, jotka pitävät huolen verkon tehokertoimen pysymisestä sille säädetyllä tasolla.

5.1 Estokeloparisto

Estokelaparisto on nykyisistä kompensointiratkaisuista paras vaihtoehto. Estokelapariston etuna tavalliseen automaattisesti säätyvään kompensointiparistoon on sen kyky suodattaa verkossa esiintyviä yliaaltoja. Enemmän tietoa yliaalloista on esitetty kappaleessa 4.1.

5.1.1 Estokelapariston rakenne

Paristo sisältää erikokoisia portaita, jotka kytkeytyvät päälle ja pois automaattisesti kuormituksen muuttuessa. Portaita voi olla paristossa esimerkiksi 12 kappaletta. Jokainen porras sisältää kolme kondensaattoria, jotka on kytketty kolmioon niin, että jokaisen vaiheen välissä on yksi kondensaattori. Lisäksi kondensaattoreiden kanssa sarjaan on kytketty estokela. Kondensaattoreiden ja estokelojen lisäksi pariston porras sisältää purkausvastukset, etuvarokkeet ja kontaktorit. Kontaktorien avulla porras kytkeytyy päälle ja pois, loistehosäätimen ohjaamana. Säädin mittaa reaaliaikaisesti verkon kuormitusta ja kytkee portaita verkkoon sille asetettujen havahtumisrajojen mukaan. (ST-kortisto ST 52.15)

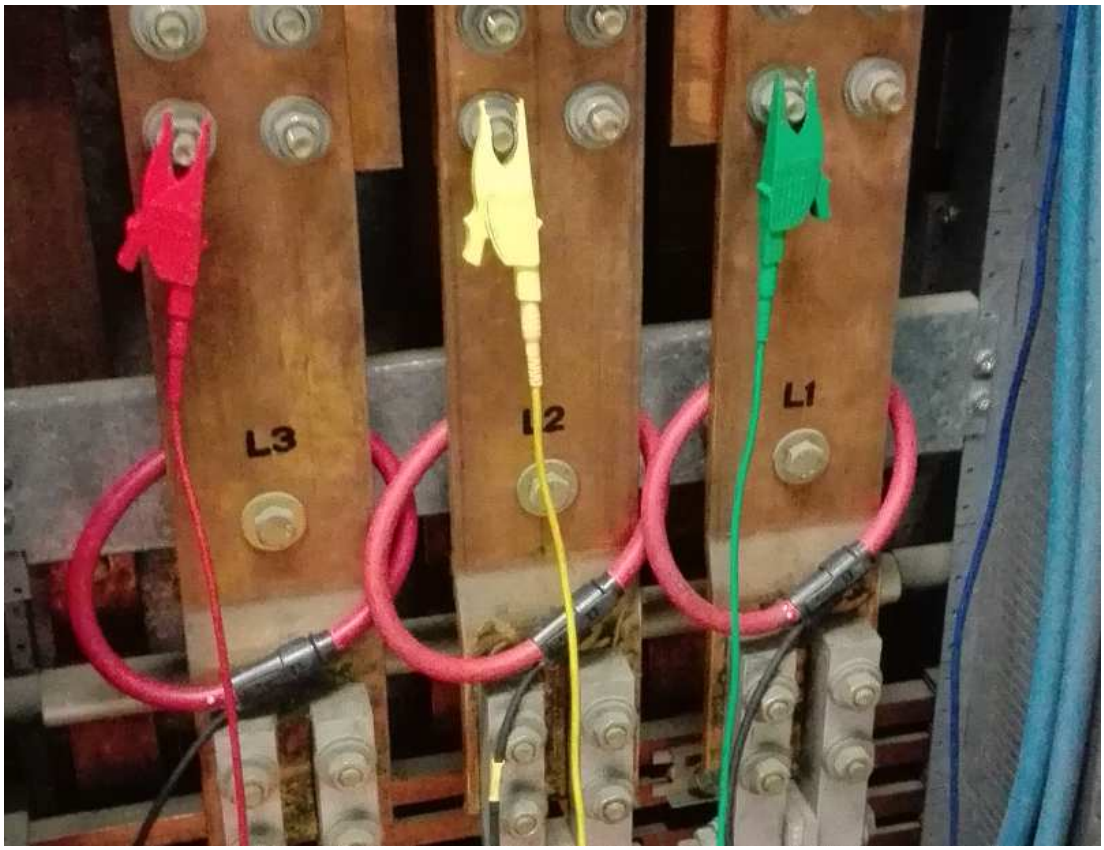
Estokelapariston rakenne

1. Tuuletin
2. Loistehonsäädin
3. Portaiden sulakkeet
4. Kontaktori
5. Kuristin
6. Kondensaattoriyksikkö
7. Ilmansuodatin

6 MITTAUKSET

Mittaukset suoritettiin Chauvin Arnoux Qualistar c.a 8334B energia-analysaattorilla muuntamoiden pääkeskuksissa, mittaamalla AmpFlex-virtalenkeillä kolmesta vaiheesta keskuksen pääkytkimellä tai sen läheisyydessä. Mittari asennettiin mittaamaan keskuksen syötöstä pätö- ja loistehot sekä tehokertoimet arkena sekä viikonloppuisin. Muutamasta muuntamosta mitattiin vielä lisäksi verkon yliaaltoprosentteja.

Kuva1. Mittaustapa



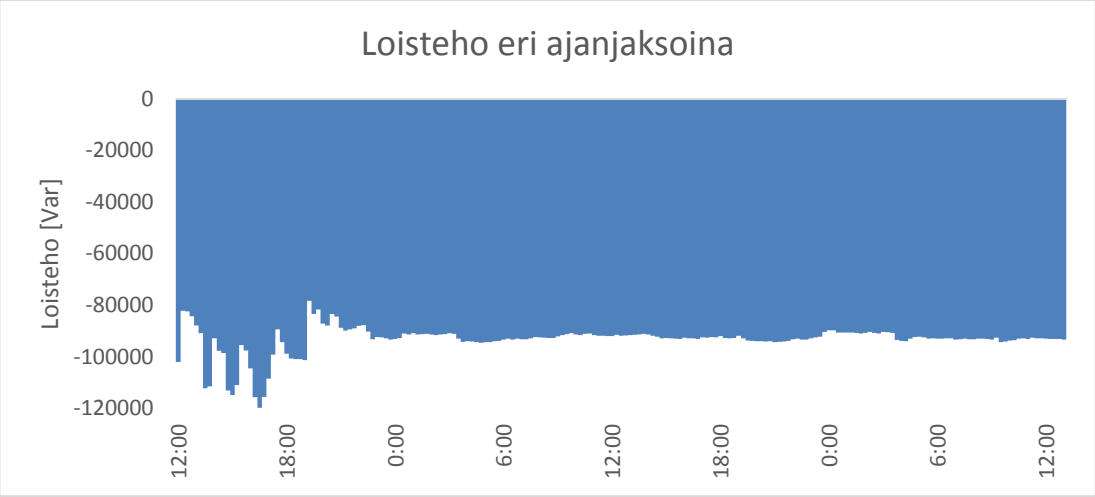
Oraksella on käytössä Siemensin mittausraportointi, jonka avulla saadaan verkon pätöteho, loisteho otto ja loisteho anto tilastoitua joka tunnilta. Ohjelman avulla otettiin työn tutkimiseen avuksi joiltakin kuukausilta raportit. Lisäksi työtä varten pyydettiin Rauman Energialta mittaustuloksia vastaavilta kuukausilta. Mittaustulokset Oraksen ja Rauman Energian mittareista pitivät minimaalisia heittoja lukuun ottamatta hyvin paikkansa.

6.1 Ongelma kompensoinnissa

Työn ensimmäinen vaihe oli tutkia verkossa olevaa ongelmaa, joka ilmeni viikonloppuisin tulevina kompensointihälytyksinä. Oraksella on omassa tehojen mittausjärjestelmässään asetetut raja-arvot loistehojen mittaukseen, jotta vältytään mahdollisilta loistehomaksuilta. Raja-arvo ylikompensointitilanteessa on 100kVar:a tunnissa. Ongelman tutkinta aloitettiin muuntamoiden läpikäynnillä ja tutustumisella kompensointiratkaisuihin eri muuntamoissa. Muuntamoihin on asennettu automaattisesti säätyvät loistehonkompensoinnit. Osaan on asennettu kokonaan uusi estokelaparisto ja osaan on päivitetty automatiikka ohjaamaan vanhoja kompensointiparistoja. Lisäksi muutamassa muuntamossa on kiinteä kompensointiparisto, joka on asennettu verkkoon automaattisesti säätyvän kompensoinnin mittauksen etupuolelle. Näin ollen sitä ei säädetä millään tapaa, vaan kompensointi on aina päällä, oli verkon kompensointitarpeen taso mikä tahansa. Kiinteät kompensointiparistot on kuitenkin poistettu käytöstä kaikissa muissa muuntamoissa, paitsi muuntamo 3:ssa.

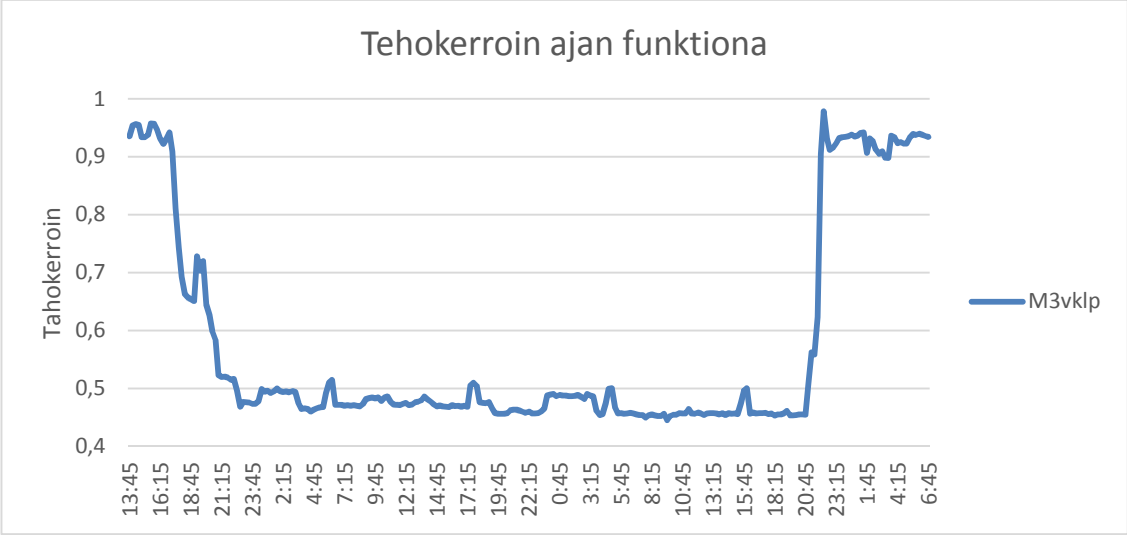
Juuri kiinteän kompensoinnin takia aloitettiin tutkiminen Muuntamo3:sta. Muuntamo 3 syöttää tehtaan hallia 3, jonka kuorma muodostuu muovipuristuskoneista ja tehtaan valaistuksena käytettävistä loisteputkivalaisimista. Mittaus asetettiin muuntamon pääkytkimelle mittaamaan verkon tehoja niin arkena kuin viikonloppunakin. Mittaustulosten perusteella nähtiin selkeästi kiinteän kompensointipariston vaikutukset muuntamon kompensointiin. Kiinteän kompensointipariston koko oli 80kVar:a. Liite 2 kuvaa Muuntamo3:n taakse asennettua loistehon kompensointia nykytilassaan.

Kuva2. Loistehon taso Muuntamo3:lla.



Kuvasta 2 nähdään hyvin, että Muuntamo3:n verkko on jatkuvasti ylikompensoitu. Kiinteän kompensointipariston koko oli siis 80kVar:a ja verkko oli jatkuvasti ylikompensoitu ainakin 80kVar:n verran. Lisäksi kuvasta 3 nähdään, miten kiinteä kompensointiparisto vaikuttaa Muuntamo3:sen tehokertoimeen merkittävästi. Tehokerroin pyörii arkena lähellä 0,96:tta mutta viikonloppuina, kun kulutukset laskevat ja loistehokuorma pysyy vakiona, tippuu verkon tehokerroin jopa alle 0,5:n.

Kuva3. Muuntamo 3 tehokertoimen muutokset viikonloppuna



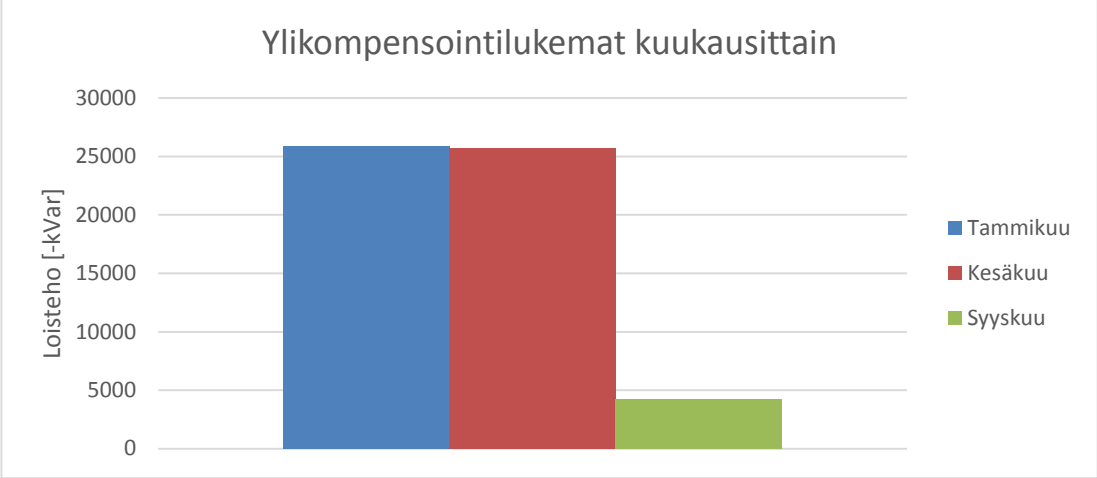
6.2 Muutokset Muuntamo3:lla

Mittausten jälkeen oli selvää että Oraksen mittaukseen asetettujen raja-arvojen ylittyminen tapahtui lähes kokonaisuudessaan Muuntamo3:sen kiinteästä kompensoinnista. Kiinteä kompensointiparisto päätettiin poistaa käytöstä, jotta ylikompensointi saataisiin poistettua. Kompensointiparisto oli asennettu yhteen pääkeskuksen lähtöön kiinteästi ilman minkäänlaista erotinta, joten pääkeskus jouduttiin tekemään jännitteettömäksi kahvasulakkeiden poiston ajaksi.

Ennen kompensointipariston poistoa tulleet kompensointihälytykset poistuivat välittömästi pariston poiston jälkeen. Näin ollen voitiin päätellä että verkossa esiintyneet ylikompensointitilanteet tippuivat alle 100kVar:n tunnissa. Tähän saatiin selvyys Oraksen oman ja Rauman Energialta pyydetyn raportin perusteella. Kuvasta 4 nähdään ylikompensointilukemat kolmen eri kuukauden osalta. Muutokset tehtiin Muuntamo3:ssa

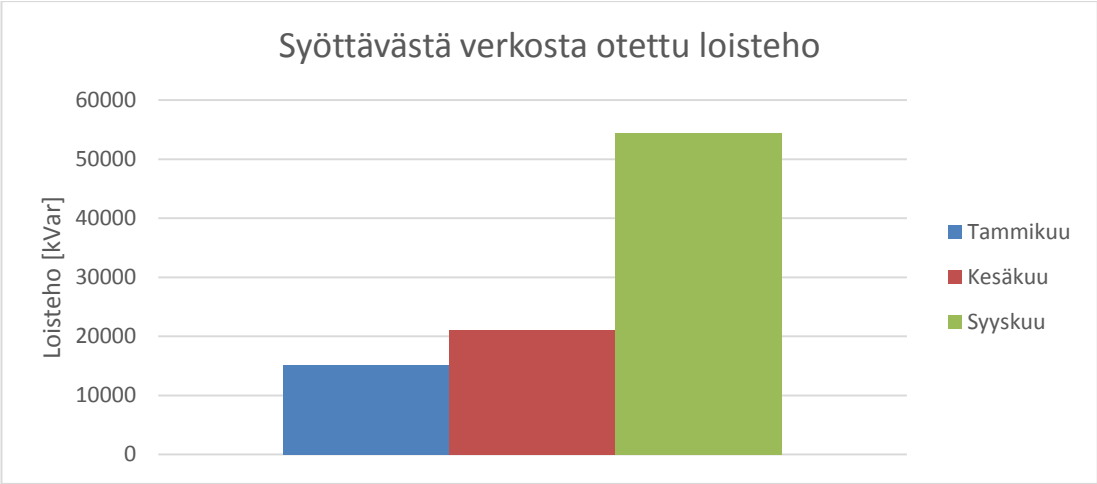
heinäkuun 23.päivä, joten syyskuun lukema näyttää ylikompensoinnin tason muutoksen jälkeen.

Kuva4. Muutokset verkon ylikompensoinnissa.



Muutoksella on kuitenkin toinenkin puolensa. Kun kiinteä kompensointiparisto poistettiin, automaattisesti säätyvien kompensointiparistojen olisi pitänyt kompensoida lähtenyt kondensaattorikuorma automaattisesti. Näin ei kuitenkaan käynyt, sillä verkon mittausraporteista nähdään kuvan 5 esittämällä tavalla, mitä tapahtui Rauman energian verkosta otettavalle loistehokuormalle.

Kuva5. Muutokset otetussa loistehossa



Niin kuin kuvasta 5 nähdään, verkosta otettu loistehokuorma tuplaantui kiinteän kompensointipariston poiston jälkeen. Käytönnössä siis yhden muuntamon ylikompen-

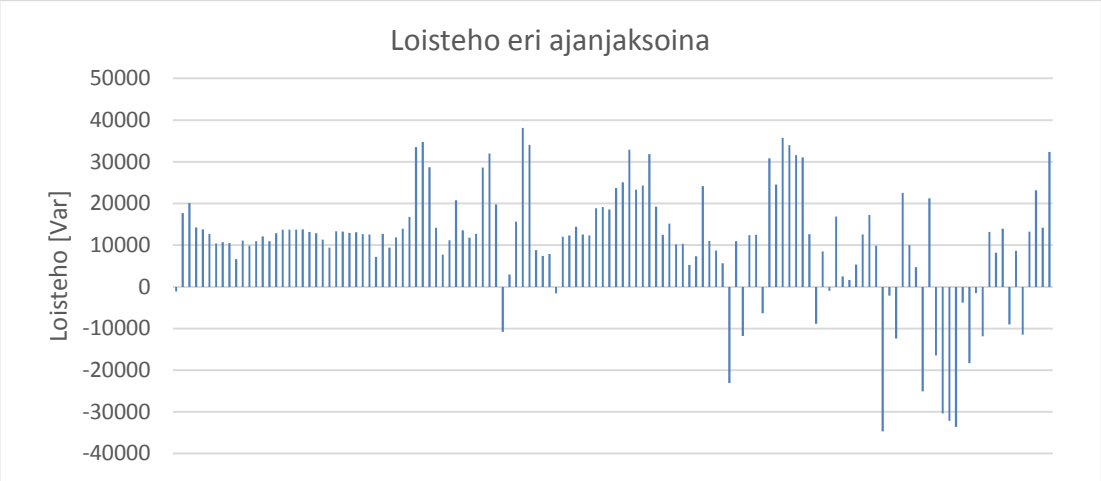
sointi oli verkolle hieman parempi kuin muutoksen myötä syntynyt Muuntamo3:n oikeanlainen toiminta. Ratkaisu ei kuitenkaan ole kiinteän kompensoinnin takaisinlaitto vaan automaattisesti säätyvien kompensointiparistojen toiminnan parantaminen. Muutoksen myötä selvisi että automaattisesti säätyvät kompensoinnit eivät tällä hetkellä joko pysty tuottamaan tarvittavaa määrää loistehoa tai ne on säädetty toimimaan liian hitaasti.

6.3 Ongelman syy

Tarkkaa tietoa ongelman syystä ei varmaksi voi sanoa, mutta olettaa voidaan että ylikompensointi on jatkunut jo pitkän aikaa muuntamo 3:lla, sillä esimerkiksi Tammikuussa tehtaalla ei vielä saatu hälytyksiä kompensointi raja-arvojen ylityksistä mutta tasoltaan ne olivat kuitenkin samaa luokkaa kuin Kesäkuun mittauslukemat. Nykyaikainen kehitys laitteiden energiatehokkuuden parantamiseen on varmasti yksi osatekijä, joka on aiheuttanut ylikompensointitilanteen. Kun laitteet, kuten esimerkiksi valaisimet päivitetään uusiin energiatehokkaampiin vaihtoehtoihin, ei verkko tarvitse enää niin paljon loistehoa mitä aiemmin ja kiinteä kompensointi näin ollen kompensoi verkkoa liikaa. Erityisesti viikonloppuina kiinteä kompensointi aiheuttaa ongelmia, koska verkossa olevat, loistehoa tarvitsevat laitteet sammutetaan, eivätkä ne näin ollen käytä lainkaan loistehoa.

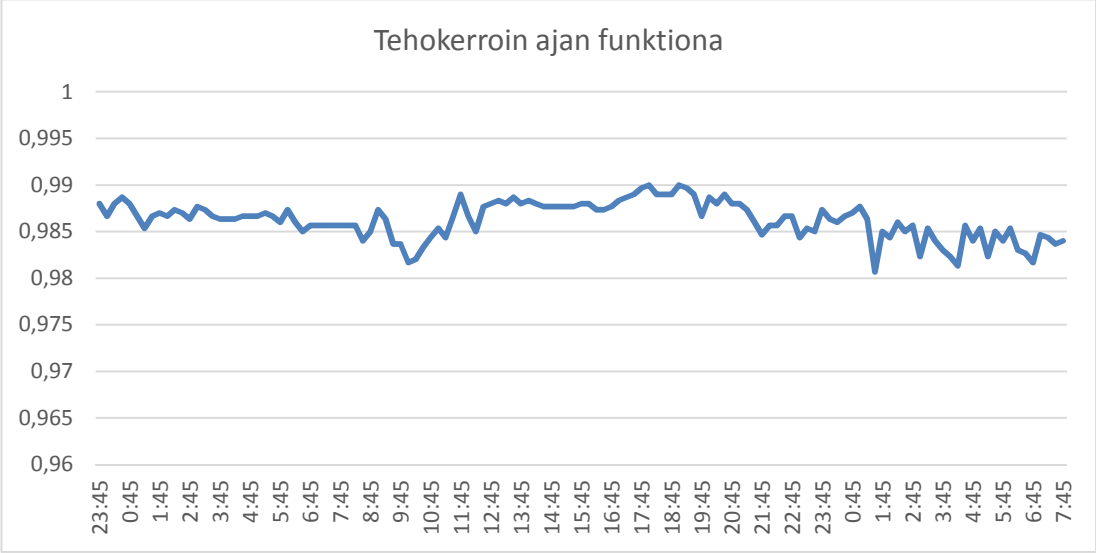
6.4 Mittaustulokset kompensointipariston poiston jälkeen

Kuva6. Loistehokuorma arkena 8.-10.11.2015



Kuvaa 6 tarkasteltaessa ja sitä vertaillessa kuvaan 2, nähdään että loistehokuorma on kääntynyt kapasitiivisesta induktiiviseksi, ja se on nyt hyvällä tasolla. Muuntamo 3:n kompensointiparistoissa on yksi 25kVar:n kompensointiporras, joka pitää huolen loistehon pysymisestä lähellä nollan tasoa.

Kuva7. Tehokerroin arkena 8.-10.11.2015



Kuvasta 7 nähdään miten muuntamon tehokerroin jakautuu arkena, tehtaan käydessä normaalisti. Tehokerroin on jatkuvasti hyvällä tasolla, eikä suurta heilahtelua tapahdu. Viikonloppuna mitatuista tuloksista saatiin lisäksi selville, että muuntamolla on edelleen hieman, noin 10-20kVar:a kapasitiivista loistehoa kun prosessit eivät ole käynnissä.

Mittaustuloksien perusteella voidaan kuitenkin todeta, että kiinteän kompensointipariston poisto oli kannattavaa, eikä kiinteää kompensointiparistoa kannata enää asentaa takaisin.

7 MITTAUKSET MUISSA MUUNTAMOISSA

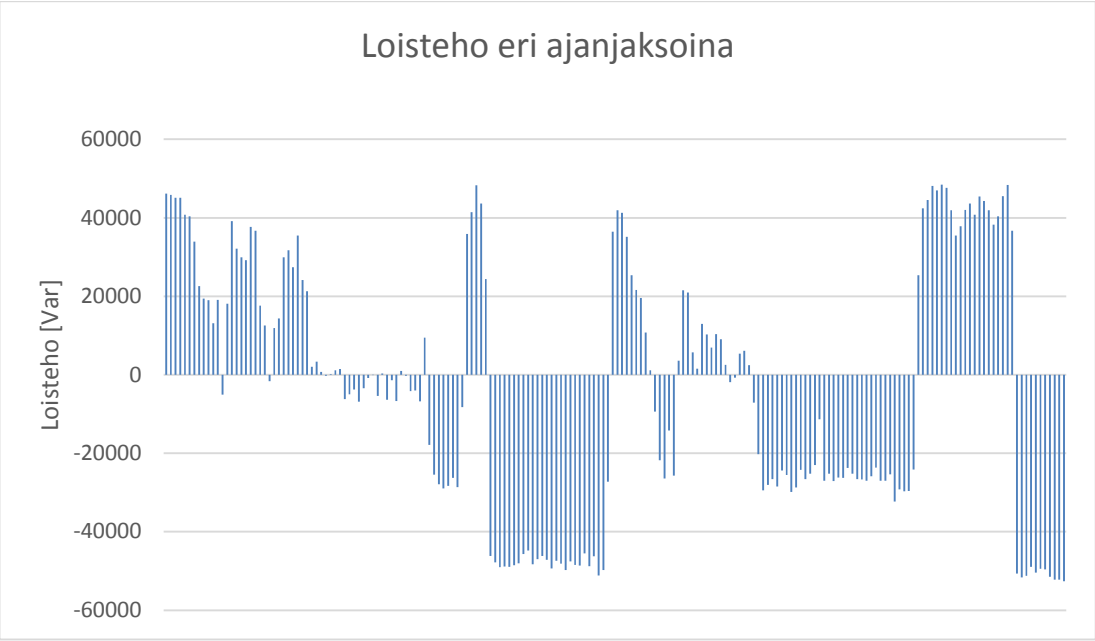
Muiden muuntamoiden pääkeskuksissa suoritettiin vastaavia mittauksia kuin Muuntamo3:lla. Lisäksi parista muuntamosta mitattiin verkon yliaaltoja jotta saatiin selvyys, esiintyykö niitä verkossa haitallisia määriä.

7.1 Muuntamo 1

Muuntamo 1 syöttää tehtaan halleja 1 ja 2. Niiden kuorma muodostuu kokoonpanolinjoista, kokoonpanopöydistä, hallien valaistuksena käytettävistä loisteputkivalaisimista, tehtaan paineilmakompressoreista ja ilmanvaihtokoneista.

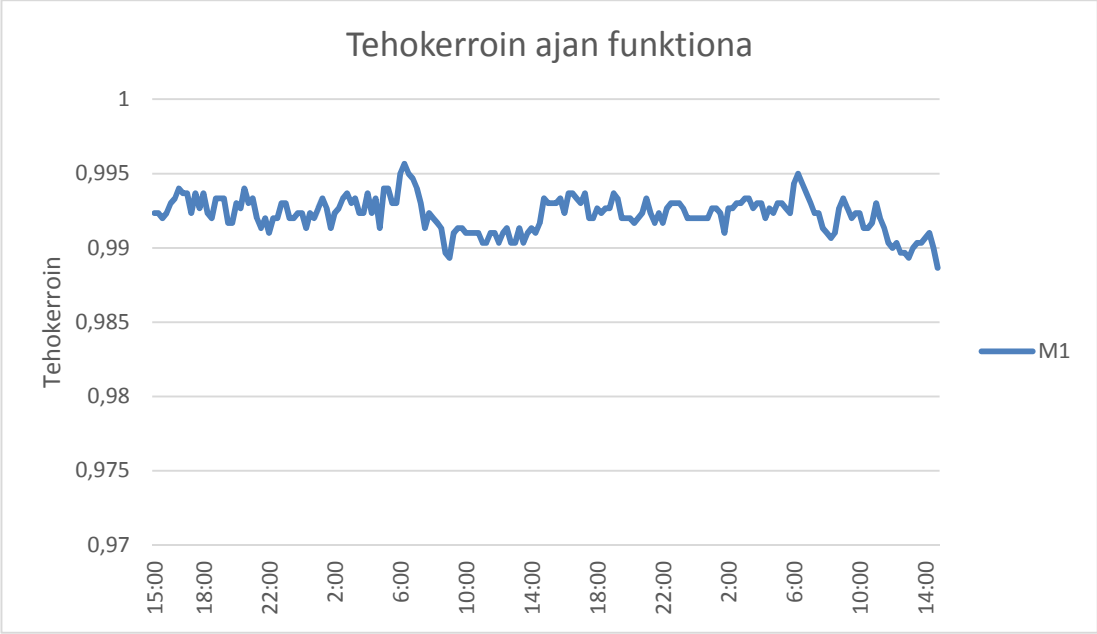
Muuntamon loistehon kompensoinnista vastaa kaksi Nokian kondensaattorien D300-1218E estokelaparistoa. Estokelaparisotot ovat melko uusia. Paristojen nimellisteho on yhteensä 600kVar:a ja se jakautuu kahteentoista 50kVar:n portaaseen. Aiemmin tehtaan kuormana oli suuri määrä työstökoneita ja muita prosessin laitteita, mutta nykyisin ne on siirretty muihin halleihin, joten muuntamon estokelaparistotkin ovat jonkin verran nykyistä tarvetta isommat. Liite 1 kuvaa muuntamo 1:n taakse asennettua loistehon kompensointia nykytilassaan.

Kuva 8. Loistehokuorma arkena 27.–29.10.2015

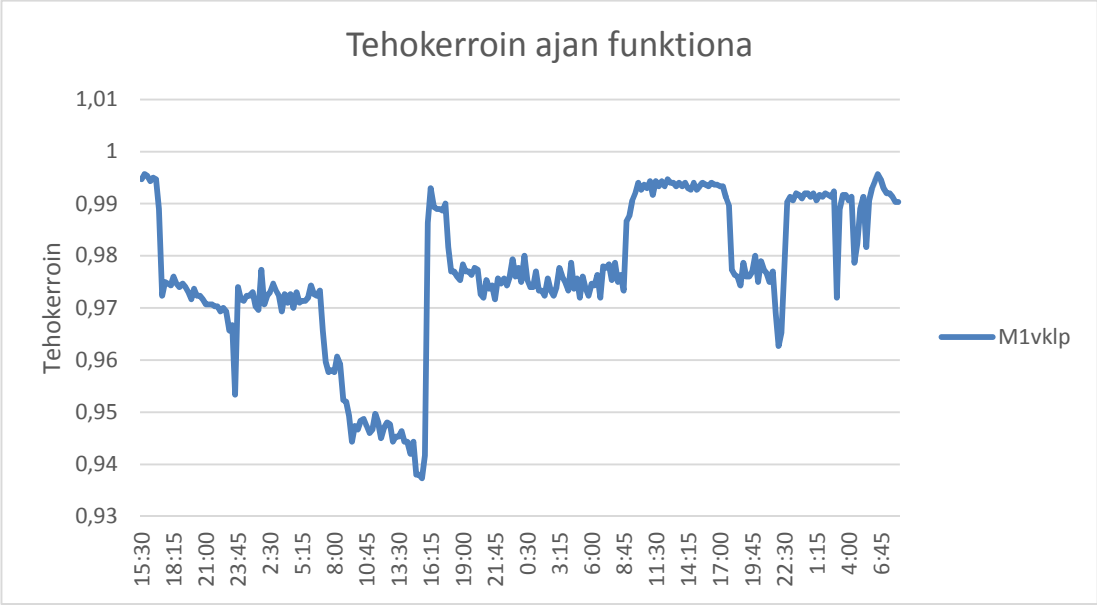


Kuvasta 8 nähdään että loistehokuorma arkena pysyy hyvällä tasolla. Kuormitustilanteiden muuttuessa, loistehokuorma vaihtelee induktiivisen ja kapasitiivisen molemmin puolin, mutta 50kVar:n portaat pitävät huolen että loistehokuorma ei kasva missään tilanteessa kovin suureksi.

Kuva9. Tehokerroin arkena 27.–29.10.2015



Kuva10. Tehokerroin viikonloppuna 30.10–2.11.2015



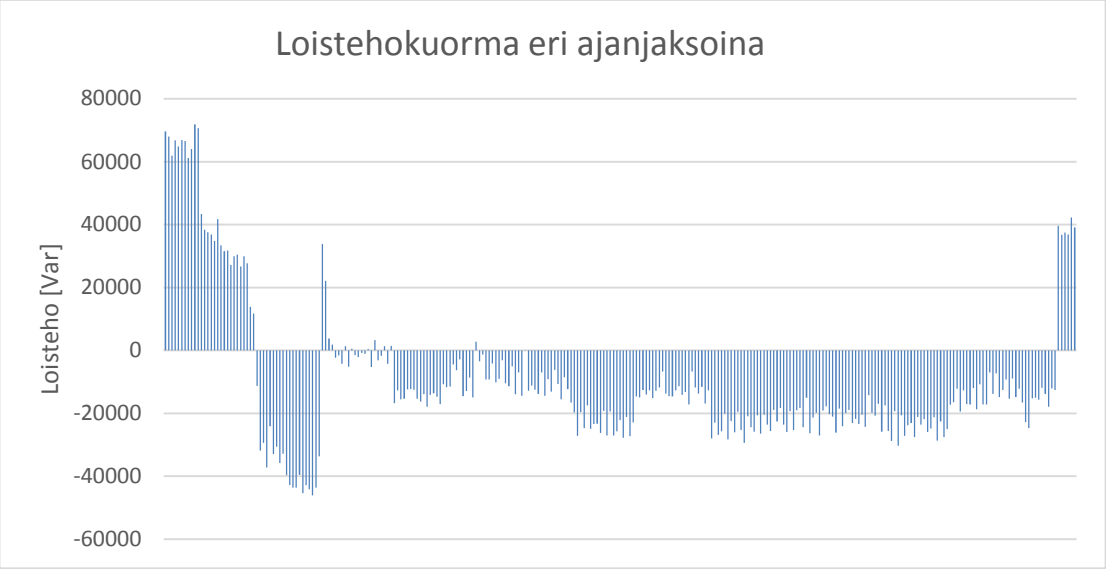
Kuvasta 9 nähdään, että arkena tehokerroin pysyy todella hyvällä tasolla. Kuvan 10 esittämä viikonloppuinen tehokertoimen putoaminen johtuu kuormituksen reilusta putoamisesta. Kuormituksen muutokset muuntamolla olivat suuret arkena ja viikonloppuna suoritettujen mittausten välillä. Arkena pätötehokuorma tunnissa oli keskimäärin 314kW:a ja viikonloppuna vain 84kW:a. Näin ollen 50kVar:n kondensaattoriportaat heikentävät tehokerrointa viikonloppuisin.

7.2 Muuntamo 4

Muuntamo 4 syöttää tehtaan hallia 4 ja konttorirakennusta. Niiden kuormana on muun muassa erilaisia työstökoneita, kokoonpanopöytiä, valaistusratkaisuja ja ilmanvaihtokoneita. Mittaukset suoritettiin 14.–19.heinäkuuta, jolloin Oraksella oli kahden viikon seisakki, joten mittaustuloksista ei nähdä, miten muuntamo kuormittuu normaalitilanteessa.

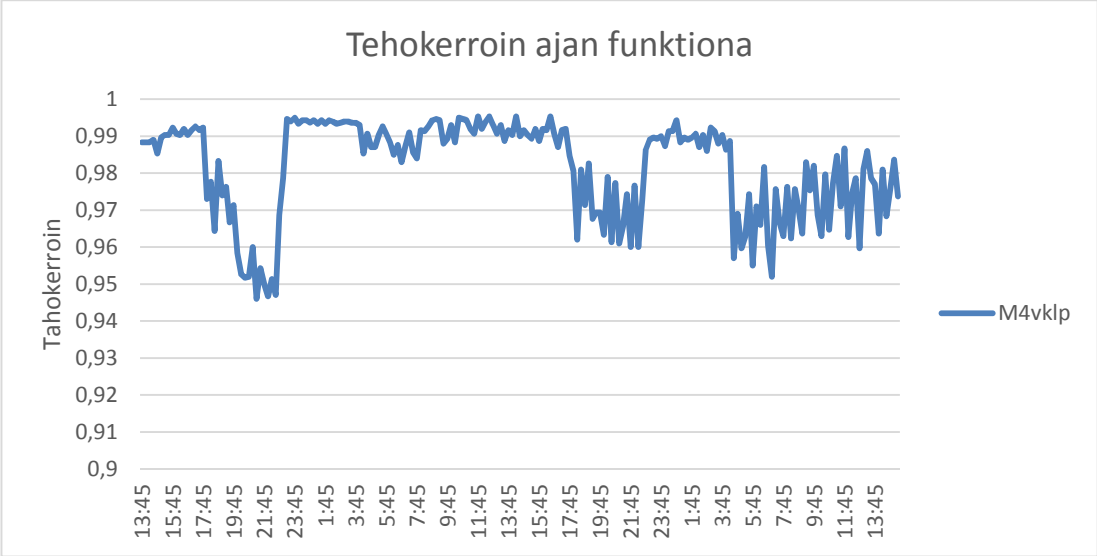
Tuloksista nähdään pätö- sekä loistehokuormia pääosin viikonloppuna, sekä verkon tehokerroin eri ajanjaksoina. Muuntamon loistehon kompensoinnista vastaa Nokian Kondensaattorien 6SX300 tyypin estokelaparisto. Estokelaparisto on tehtaan uusin. Pariston nimellisteho on 300 kVar:a ja se jakautuu kuuteen 50kVar:n portaaseen. Liite 3 kuvaa muuntamo 4:n taakse asennettua loistehon kompensointia nykytilassaan.

Kuva11. Loistehojakauma välillä perjantai-maanantai



Kuvasta 11 nähdään viikonlopun yli olleessa mittauksessa, että verkko on hieman ylikompensoitu kun kulutus putoaa. Lisäksi kuvasta nähdään miten ylikompensoinnin ylittäessä -40kVar:n tason, kytkeytyy yksi 50kVar porras päälle ja loistehokuorma nousee nollan tasolle joksikin aikaa. Kompensointipariston havahtumisrajoja säätämällä saataisiin kapasitiivinen loisteho käännettyä induktiiviseksi, mutta se ei kuitenkaan muuttaisi tilannetta merkittävästi. 50kVar:n portaista johtuen myös tehokerroin heilahtelee jonkin verran, kuten kuvasta 12 nähdään.

Kuva12. Tehokertoimen muutokset viikonloppuna

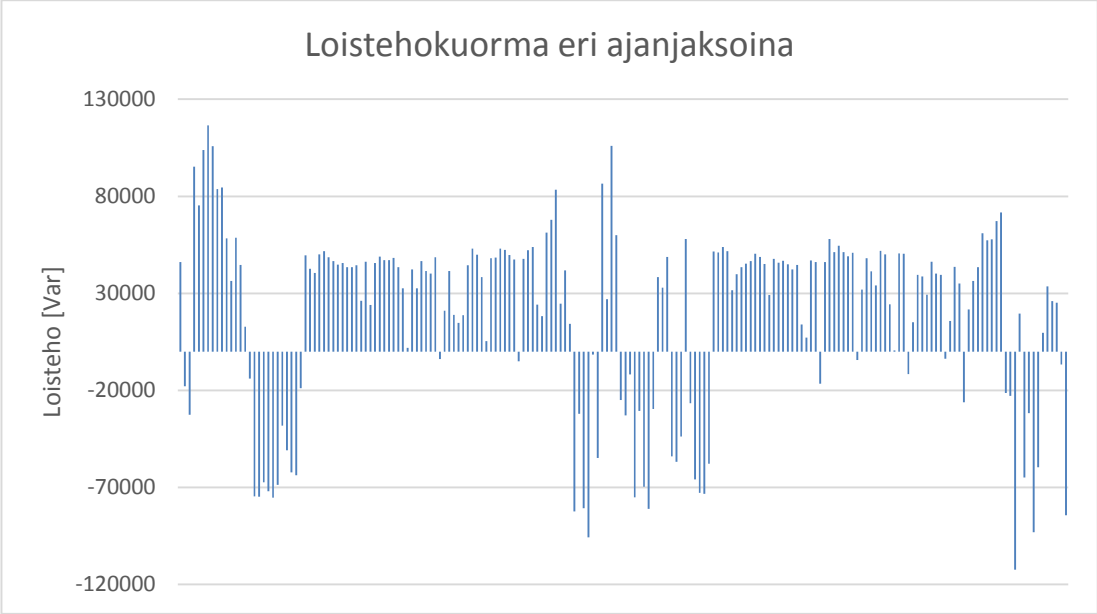


7.3 Muuntamo 6 – Muuntaja 6.1

Muuntaja 6.1 syöttää tehtaan hallia numero 6. Halli sisältää messinki- ja muovikromaamon, joiden kuorma koostuu erilaisista prosessilaitteista, ilmanvaihdosta ja valaistuksesta. Tämän muuntamon kohdalla suoritettiin myös yliaaltomittauksia, sillä prosessi sisältää paljon suurikuormaisia tasasuuntaajia, jotka käyttävät tasasuuntaukseensa hakkuriteholähteitä. Hakkuriteholähteet aiheuttavat verkkoon yliaaltoja, joten niiden tasosta haluttiin saada selvyys.

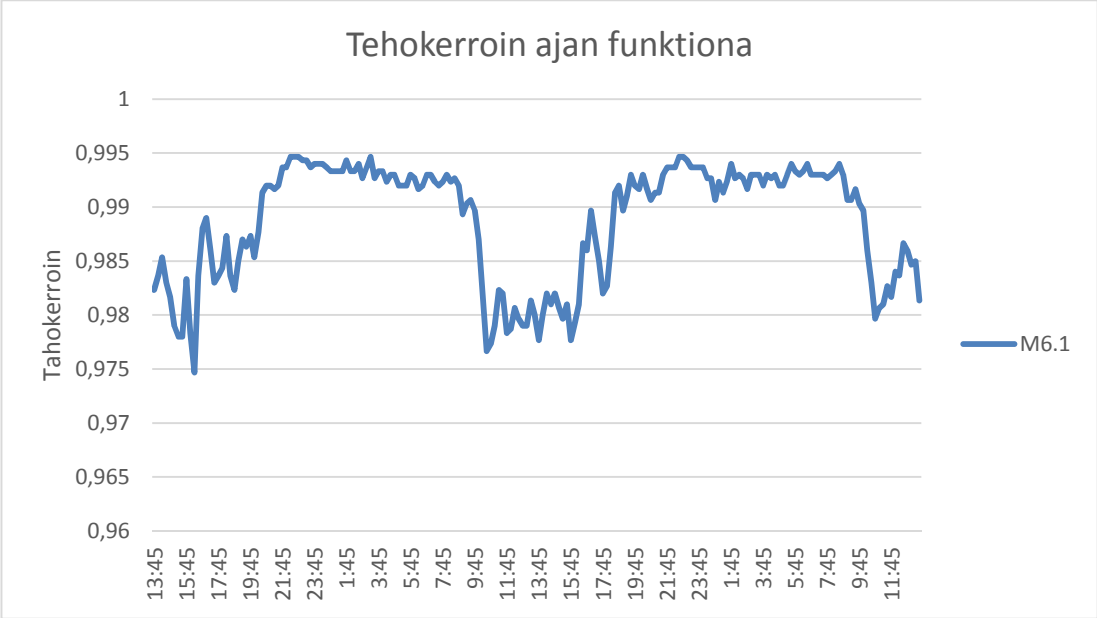
Muuntajan loistehon kompensoinnista vastaa vanhat Nokian Kondensaattorien 4ADKA ja 2SDXA tyypin kondensaattoriparistot. Kondensaattoriparistot ovat vanhoja ja niihin on jälkikäteen päivitetty loistehosäädin. Paristojen nimellisteho on 600kVar:a ja se jakautuu kahteentoista 50kVar:n portaaseen. Lisäksi muuntamossa on kiinteä, 75kVar:n kondensaattori. Kiinteä kondensaattori ja useat automaattisesti kytkeytyvät kondensaattorit on kuitenkin poistettu käytöstä. Liite 4 kuvaa muuntaja 6.1 taakse asennettua loistehon kompensointia nykytilassaan.

Kuva 13. Loistehokuorma arkena 10.–12.8.2015

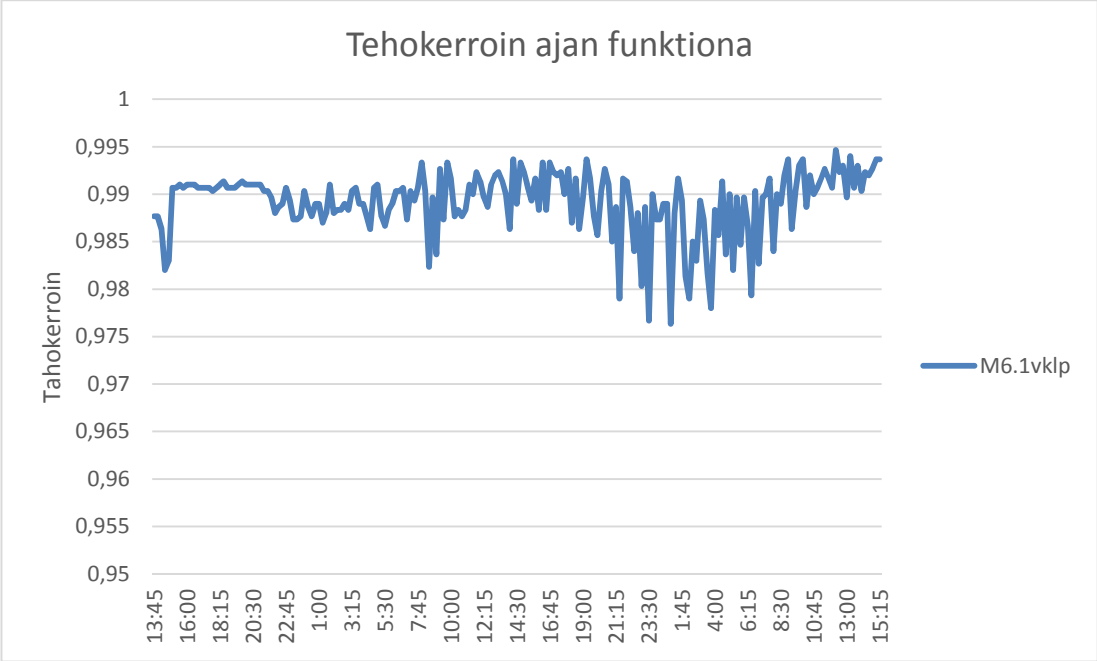


Kuvasta 13 nähdään, että loistehokuorma on pääosin induktiivista, ja kuormituksen vaihdellessa, säädin pitää loistehon jatkuvasti niin lähellä nollaa kuin 50kVar:n portailla vain voi.

Kuva14. Tehokerroin arkena 10.–12.8.2015, prosessien käydessä.



Kuva15. Tehokerroin viikonloppuna 7.-10.8.2015.

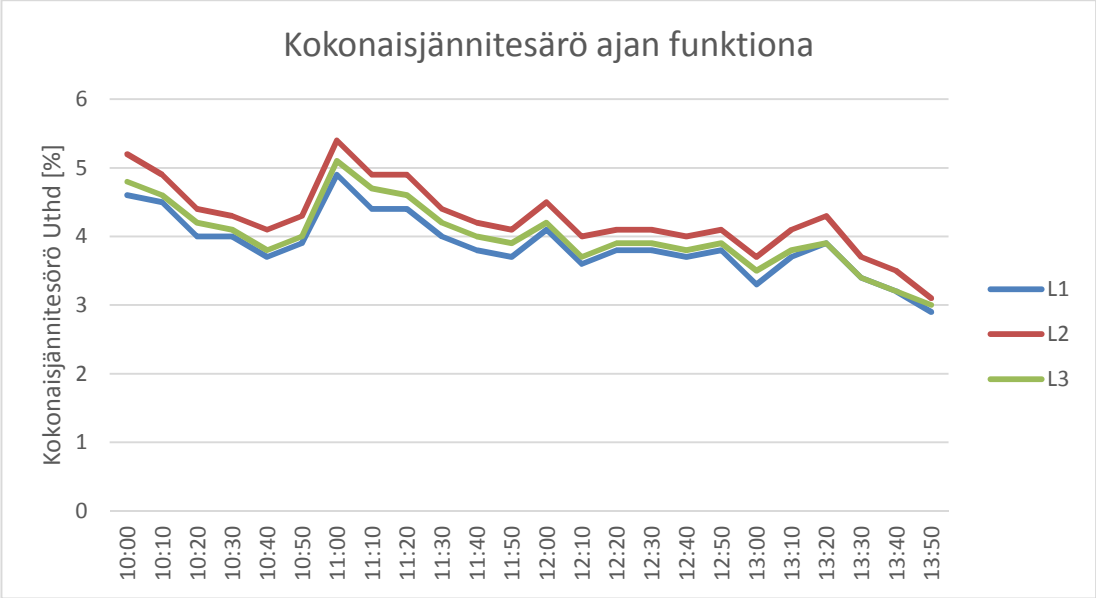


Kuvista 14 ja 15 nähdään, että verkon tehokerroin pysyy pääosin hyvällä tasolla. Kuitenkin arkena suoritetusta mittauksesta nähdään, että päivisin välillä 07:00-16:00, verkon tehokerroin heikentyy jonkin verran. Tämä saattaa johtua messinkikromaamon tuomasta lisäkuormasta, sillä muovikromaamo käy arkisin kolmessa vuorossa mutta messinkikromaamo vain aamuvuorossa välillä 06:00-14:00.

7.3.1 Yliaaltomittaukset

Yliaaltomittaukset suoritettiin arkena, 10.11.2015, kun molemmat kromaamot olivat käynnissä normaalisti. Muuntaja 6.1:n kohdalla mittaukset haluttiin suorittaa, koska muuntajan kuormana on useita suurikuormaisia tasasuuntauslaitteistoja. Yliaaltoja verkkoon synnyttää juuri tasasuuntaajat sekä taajuusmuuttajat, joten oli selvää että tuloksissa varmasti näkyisi jonkin verran kokonaisjännitesäröä. Lisäksi muuntamon kompensoinnista vastaa vanhat kompensointikondensaattorit, joten yliaaltoja ei suodateta mitenkään verkosta pois.

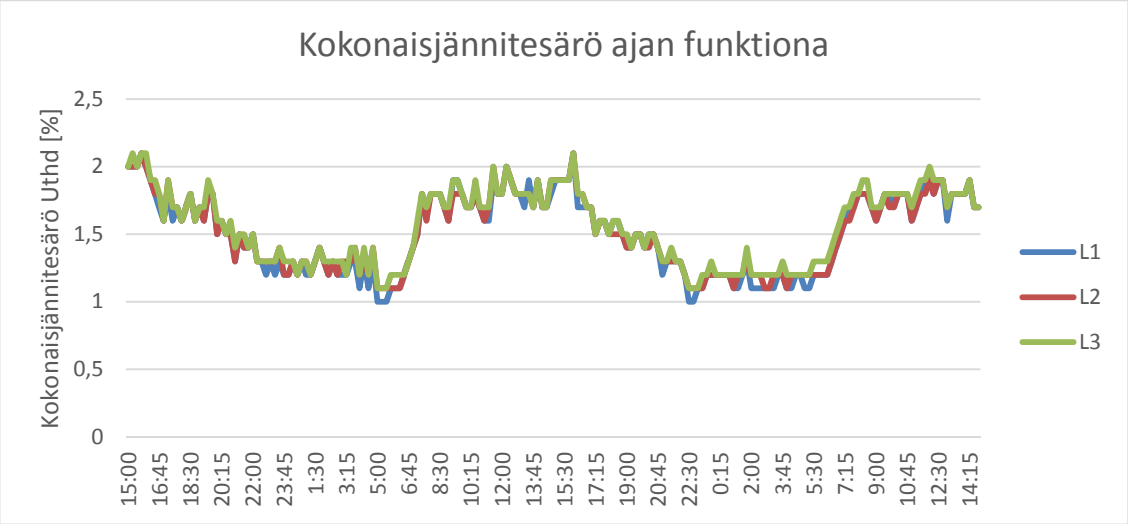
Kuva16. M6.1 kokonaisjännitesärö arkena, 10.11.2015.



Kokonaisjännitesäröä kuvaavasta kuvasta 16 nähdään, että molempien kromaamoiden käydessä jännitesäröä on verkossa suositeltua enemmän. Tämä saattaa aiheuttaa prosessiin vikoja, joita ei huomata tai vastaavasti niihin ei löydetä järkevää selitystä. Korkea jännitesäröprosentti johtuu prosessissa olevista suurikuormaisista tasasuuntaajista, jotka käyttävät tasasuuntauksessa hakkuriteholähteitä. Kuvan hitaasti pienenevä jännitesäröprosentti johtuu messinkikromaamosta, joka on käynnissä vain 06:00-14:00 välisenä aikana, joten kuormat siellä pienenevät jo ennen kello 14:ta. Vanhat kompensointikondensaattorit eivät suodata lainkaan yliaaltoja, joten järkevää olisi, suositusten mukaisesti asentaa muuntajalle uusi estokelaparisto hoitamaan loistehon kompensointia ja yliaaltojen suodatusta.

Vertailun vuoksi kuva 17 esittää vastaavaa mittausta muuntamolla 1, jossa käytössä on estokelaparistot ja muuntamon kuorma synnyttää huomattavasti vähemmän yliaaltoja.

Kuva 17. M1 kokonaisjännitesärö arkena, 10.11.2015.



7.4 Muuntamo 6 – Muuntaja 6.2

Muuntaja 6.2 syöttää tehtaan hallia numero 8. Hallin kuorma muodostuu työstökoneista, hionta- ja kiillotusyksiköistä, ilmanvaihdosta ja valaistuksesta.

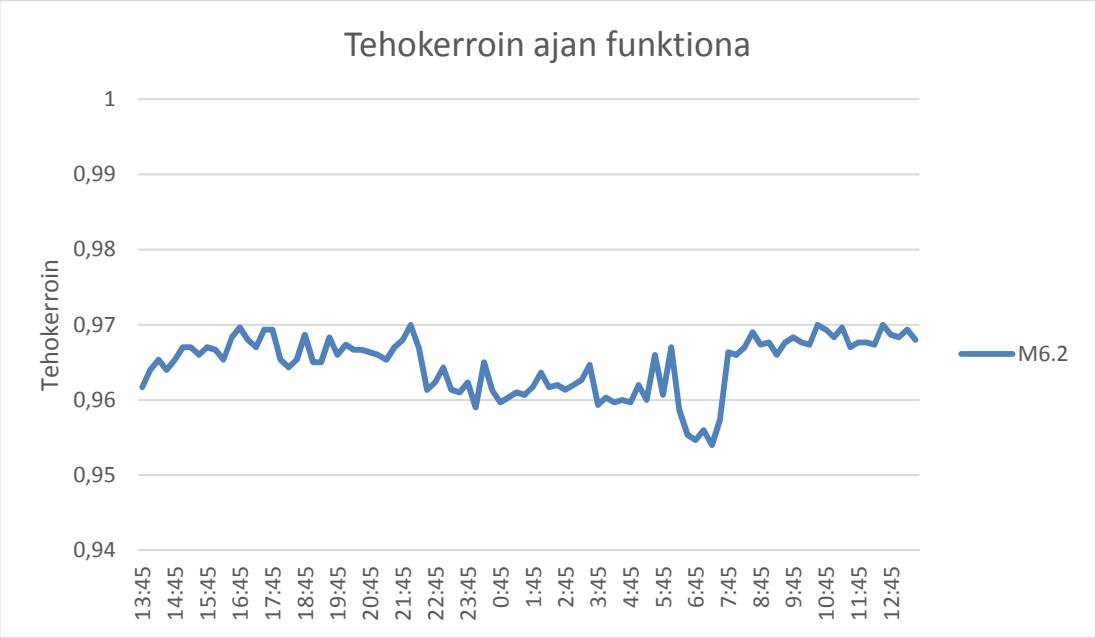
Muuntajan loistehon kompensoinnista vastaa Nokian Kondensaattorien 2HX3S200 tyypin kondensaattoriparisto. Kondensaattoripariston nimellisteho on 250kVar:a ja se jakautuu 4:ään 50kVar:n ja kahteen 25kVar:n portaaseen. Lisäksi muuntamossa on kiinteä, 2SCDX tyypin, 100kVar:n kompensointikondensaattori. Kiinteä kondensaattori on kuitenkin poistettu käytöstä. Liite 5 kuvaa muuntajan 6.2 taakse asennettua loistehon kompensointia nykytilassaan.

Kuva 18. Loistehokuorma arkena 12.–13.8.2015

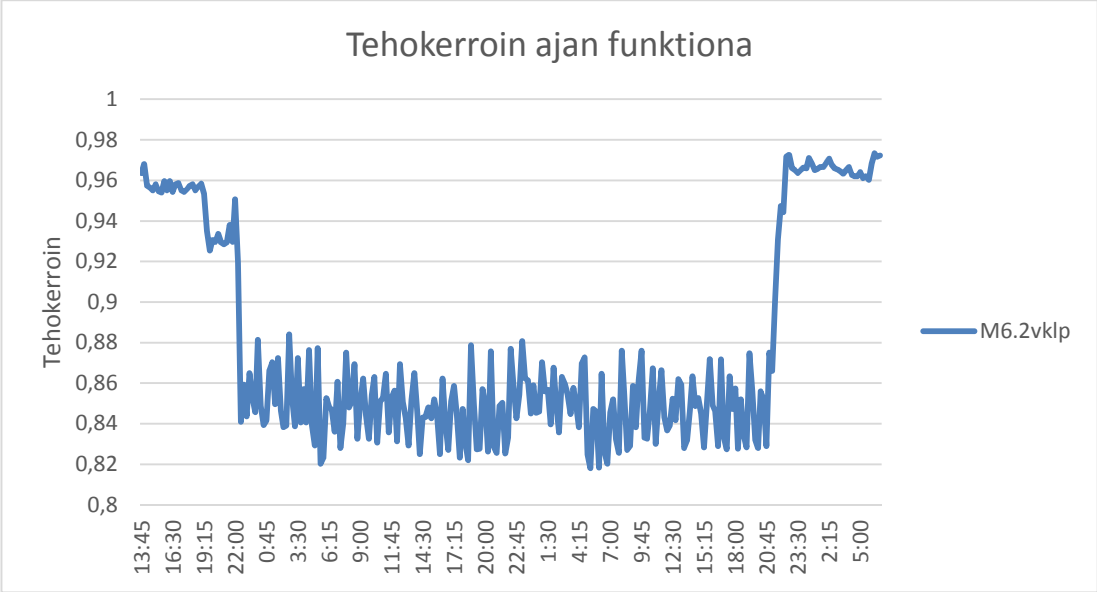
Halli 8:aan lisättiin muutama vuosi sitten paljon työstökoneita kun tuotantoa keskitettiin hallikohtaisesti, joten muuntajaan kohdistunut kuormakin kasvoi huomattavasti. Kuvasta 18 nähdään, miten loistehon kompensointi ei jostain syystä toimi oikealla tavalla. Verkko on jatkuvasti alikompensoitu, vaikka verkossa on automaattisesti säätyvät kompensointiparistot. Alikompensointi saattaa johtua kondensaattoreiden hajoamisesta, säätimen vääristä säädöistä tai kompensointitehon riittämättömyydestä.

Olettaen että toisten muuntamoiden kompensoinnit toimisivat täydellisesti, ottaa muuntaja 6.2:n 60kVar:n alikompensointi päivittäin 1440kVar:a loistehoa syöttävästä verkosta, eli kuukaudessa 43200kVar:a. Näin ollen, aiemmin muuntamo 3:a tarkasteltaessa, nähtiin miten verkosta otettu loistehokuorma oli syyskuussa 54000kVar:n luokkaa. Eli muuntaja 6.2:n alikompensointi aiheuttaa suurelta osin syöttävästä verkosta otetun loistehon määrän.

Kuva19. Tehokerroin arkena 12.–13.8.2015

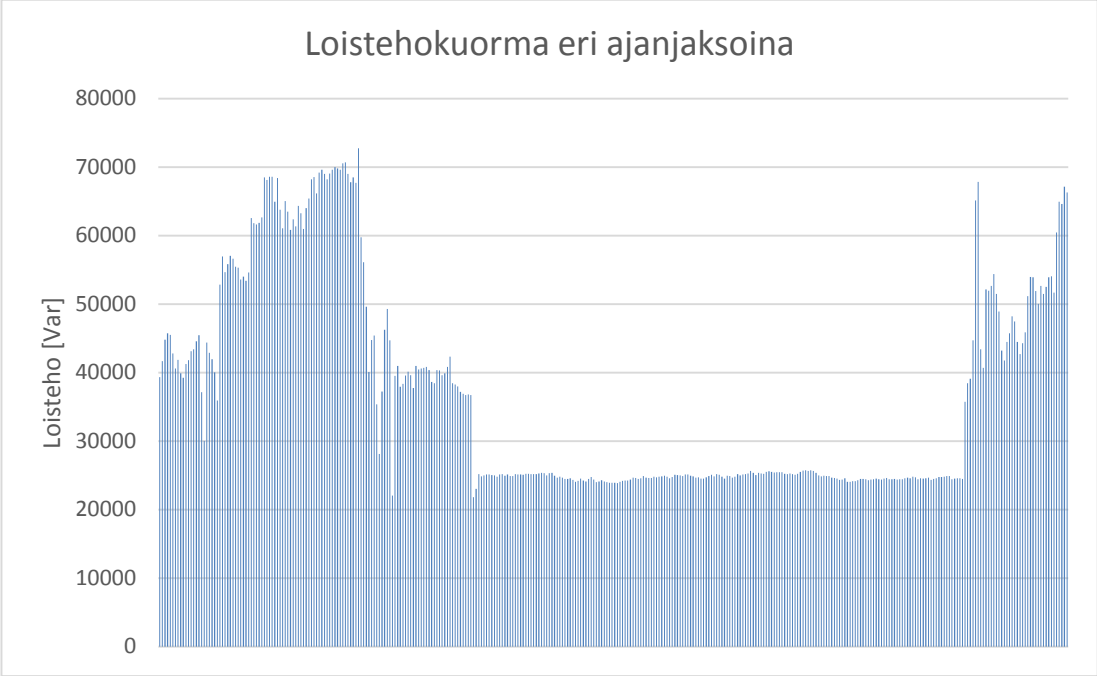


Kuva20. Loistehokuorma viikonloppuna 14.–17.8.2015



Kuvista 19 ja 20 nähdään, että verkon tehokerroin ei missään tilanteessa saavuta hyvää tasoa. Tehokerroin on jatkuvasti alle 0,97 ja viikonloppuna tehokerroin putoaa jopa alle 0,85:n. Mittaustuloksista selvisi että viikonloppuinen tehokertoimen putoaminen ei johdu ylikompensoinnista, vaan loistehokuorma pysyy jatkuvasti induktiivisena, 20-60kVar:n tasolla. Näin ollen, kun viikonloppuina pätötehokuorma putoaa ja loistehokuorma pysyy vahvasti induktiivisena, verkon tehokerroin heikkenee huomattavasti.

Kuva21. Loistehokuorma 13.–17.8.2015



Viikonloppuinen 20kVar:n kuorma on nykyisellä kompensointiparistolla mahdotonta saada kompensoitua, sillä 50kVar:n portailla loistehokuorma kääntyisi 30:n kVar:n verran kapasitiiviseksi, mikäli säädin kytkisi yhden portaan lisää päälle.

7.5 Muuntamo 7 – Muuntaja 7.1

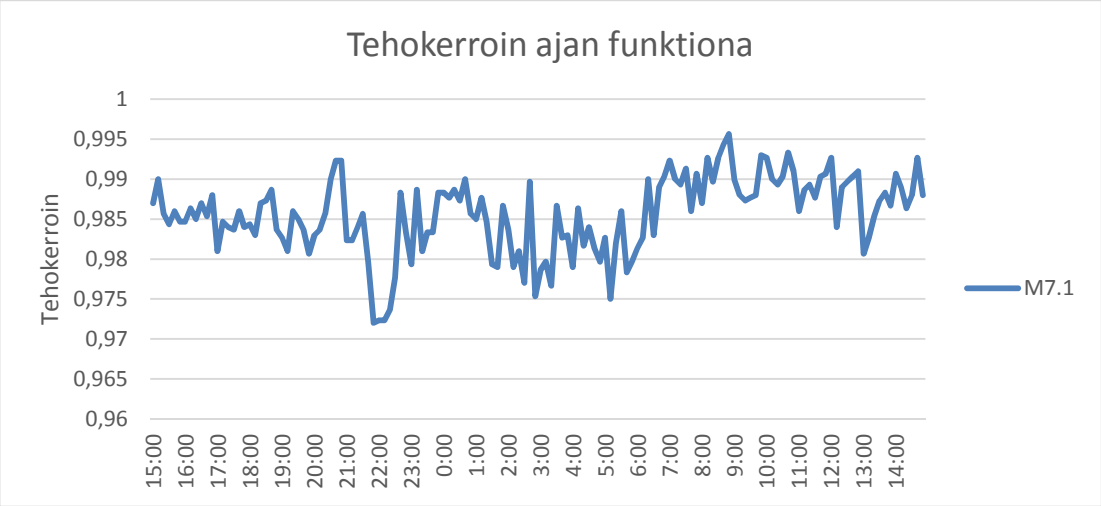
Muuntamo 7:n muuntaja 7.1 syöttää tehtaan halleja 5 ja 7. Niiden kuormana on valuuuneja, valukoneita, työstökoneita, muita prosessilaitteita, ilmanvaihtoja ja valaistusta.

Muuntajan loistehon kompensoinnista vastaa Nokian kondensaattoreiden D300-0818E- ja D300-1018E-tyypin estokelaparistot. Paristojen nimellisteho on 600kVar:a ja se jakautuu seitsemään 75kVar:n ja kahteen 37,5kVar:n kompensointiportaaseen. Liite 6 kuvaa muuntaja 7.1 taakse asennettua loistehon kompensointia nykytilassaan.

Kuva22. Loistehojakauma arkena 11.–12.11.2015

Kuvasta 22 nähdään, että loistehokuorma muuntajalla 7.1 on hyvin hallinnassa. Valimossa kuormitus vaihtelee jatkuvasti, joten loistehokuormakin vaihtelee suuresti. Automaattisesti säätyvä estokelaparisto toimii oikein, eikä loisteho karkaa missään tilanteessa liikaa induktiiviseksi tai kapasitiiviseksi. Kuvan 23 tehokertoimen muutoksia kuvaavasta kuvasta nähdään, että tehokerroin vaihtelee jonkin verran 75kVar:n kompensointiportaista johtuen mutta tehokerroin pysyy kuitenkin jatkuvasti hyvällä tasolla.

Kuva23. Tehokertoimen muutokset arkena 11.–12.11.2015

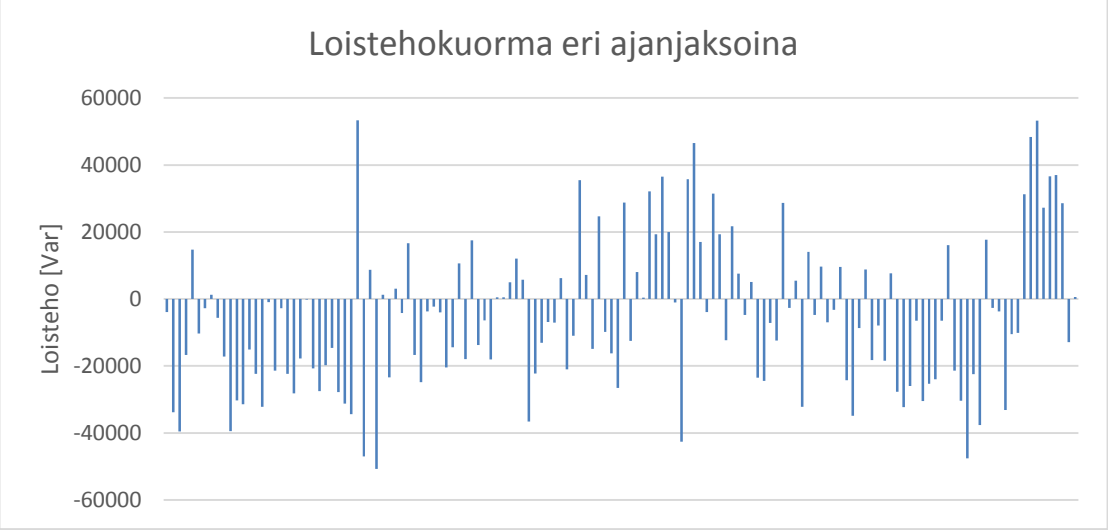


7.6 Muuntamo 7 – Muuntaja 7.2

Muuntamo 7:n muuntaja 7.2 syöttää muuntajan 7.1 tavoin tehtaan halleja 5 ja 7. Niiden kuormana on valu-uuneja, valukoneita, työstökoneita, muita prosessilaitteita, ilmanvaihtoja ja valaistusta.

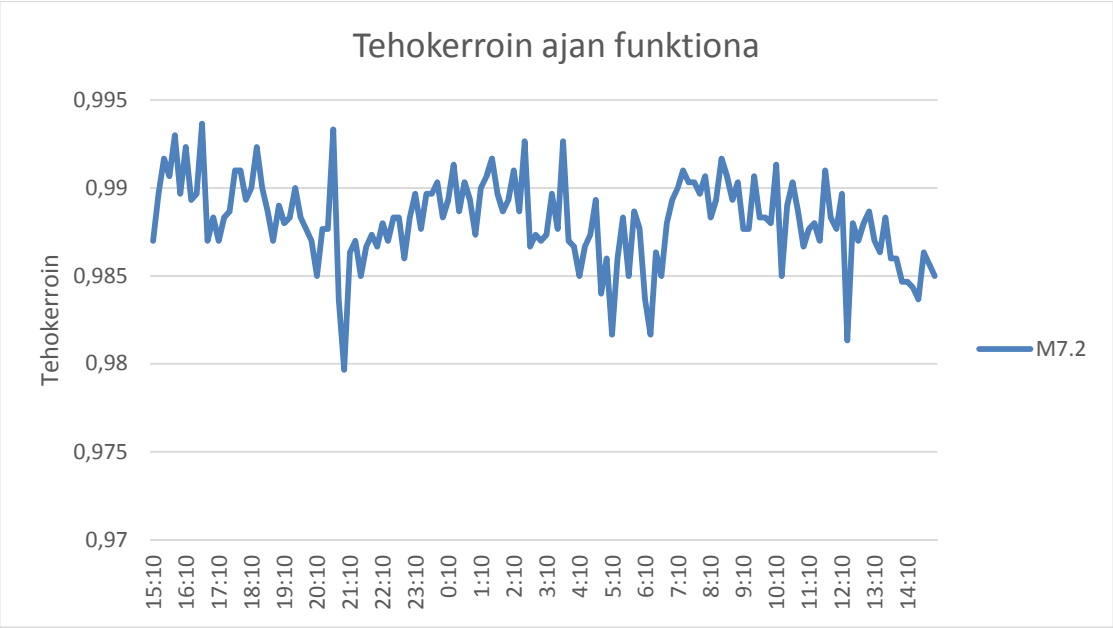
Muuntajan loistehon kompensoinnista vastaa kolme Nokian kondensaattoreiden D300-1018E-tyypin estokelaparistoa. Paristojen nimellisteho on 900kVar:a ja se jakautuu kahteentoista 75kVar:n kompensointiportaaseen. Liite 7 kuvaa muuntaja 7.2 taakse asennettua loistehon kompensointia nykytilassaan.

Kuva24. Loistehojakauma arkena 12.–13.11.2015



Kuvasta 24 nähdään, että loistehokuorma muuntajalla 7.2 on suurimmaksi osaksi hieman kapasitiivista. Ylikompensointi on kuitenkin melko vähäistä ja paristo näyttää toimivan hyvin, sillä loisteho ei karkaa kumpaankaan suuntaan yli 40kVar:n.

Kuva25. Tehokertoimen muutokset arkena 12.–13.11.2015



Tehokertoimen muutoksia esittävästä kuvasta 25 nähdään, että tehokerroin muuntajalla 7.2 on jatkuvasti hyvällä tasolla. Tehokerroin heilahtelee jonkin verran kuormituksen muutoksista johtuen, mutta tehokertoimen ollessa jatkuvasti reilusti yli 0,98:n, ei muutoksille ole tarvetta.

8 PÄÄTELMÄT

Muuntamo 1 loistehon kompensointi on hyväkuntoisten estokelaparistojen ansiosta hyvällä tasolla. Tehokerroin on arkena, kuormituksen ollessa normaali, jatkuvasti päälle 0,99:n. Ainoa poikkeus on viikonloppuinen kuormituksen putoaminen, hyötysuhde alkaa seilaamaan heti hieman enemmän koska estokelaparistossa on 50kVar:n portaat. Tehokertoimen saisi vakioitua paremmin asentamalla yhden pienemmän kompensointiportaan paristoon.

Muuntamo 3 loistehon kompensointi oli työn aloituksessa todella huonolla tasolla. Tehokertoimen putoaminen jopa lähelle 0,5:ttä, johtui muuntamon reilusta ylikompensoinnista. Ylikompensointi oli jatkunut jo pidemmän aikaa, sillä tammikuun mittaustuloksista nähtiin että pois annettu loisteho oli yhtä korkealla tasolla kuin kesäkuussa. Muutosten jälkeen suoritetuista mittauksista nähdään, miten kiinteän kompensointikondensaattorin poisto muutti muuntamon tilannetta. Ylikompensointi saatiin poistettua ja tuloksien perusteella muuntamon vanhat kompensointiparistotkin näyttävät toimivan hyvin. Korjausten jälkeen viikonloppuisessa mittauksessa näkyi 10-20kVar:n tasolla oleva kapasitiivinen loisteho. Tämä ei mielestäni kuitenkaan kaipaa suurempaa korjaamista, sillä muiden muuntamoiden induktiivinen loisteho kumoaa tuon pienen kapasitiivisen loistehon.

Muuntamo 4 loistehon kompensointi ei kaipaa kompensointiparistojen päivittämistä. Kuvan 12 kuvaama hyötysuhteen heilahtelu johtuu estokelapariston portaiden koosta, sillä seisakin aikana ollut todella vähäinen pätötehokuorma suhteessa noin 40kVar:n kapasitiiviseen loistehoon aiheuttaa hyötysuhteen putoamisen. Säätimen asetusarvojen tarkastelu voisi kuitenkin olla paikallaan, sillä kuormituksen ollessa minimissään, verkko on jatkuvasti hieman ylikompensoitu.

Muuntaja 6.1 loistehon kompensointi on pääosin hyvällä tasolla, mutta tehokertoimen putoaminen aina molempien kromaamoiden käydessä viittaa kompensoinnin riittämättömyyteen. Lisäksi mitatusta kokonaisjännitesäröstä nähdään, että verkossa on suositeltua enemmän yliaaltoja ja se saattaa aiheuttaa prosessiin ei toivottuja ongelmia. Sillä erityisesti kromaamoissa on käytössä paljon herkkiä prosessilaitteita, jotka ovat alttiita pienillekin häiriöille. Vaikka kompensointi vaikuttaa toimivan hyvin, ovat kompensointikondensaattorit todella vanhoja, eivätkä ne suodata lainkaan verkossa esiintyviä yliaaltoja. Tästä syystä olisi tärkeää panostaa uuteen estokelaparistoon, joka oikeanlaisen kompensoinnin ohella poistaisi verkossa esiintyviä yliaaltoja. Näin ollen saataisiin varmuus, että verkossa ei esiinny ongelmia jotka liittyvät yliaaltoihin. Tämä on tärkeää, sillä pienikin häiriö prosessin tärkeimmissä vaiheissa saattaa aiheuttaa epäonnistuneen kromauksen.

Muuntaja 6.2 loistehon kompensointi on liian pieni, liitteestä 5 nähdään, miten loistehon kompensoinnista on poistettu kiinteä 100kVar:n kondensaattoriparisto. Vain 250kVar:n kompensointiteho ei riitä arkena tuottamaan tarvittavaa määrää loistehoa. Näin ollen sitä joudutaan ottamaan syöttävästä verkosta. Vaihtoehtoja kompensoinnin parantamiselle on kaksi, joko asennetaan vanhaan loistehosäätimeen lisää kompensointiportaita tai hankitaan uusi, oikein mitoitettu estokelaparisto. Vanhan kompensointipariston yhteyteen lisättävillä portailla saataisiin kyllä kompensointiteho riittäväksi, mutta paristo olisi silti vanha, eikä ratkaisu olisi näin ollen kovin pitkäikäinen. Mielestäni ainoa järkevä ratkaisu kompensoinnin parantamiselle olisi hankkia uusi estokelaparisto.

Muuntaja 7.1 loistehon kompensointi toimii hyvin. Kuvista 22 ja 23 nähdään, että loistehokuorma ei kasva missään tilanteessa suureksi ja tehokerroin pysyy hyvällä tasolla. Melko uudet estokelaparistot eivät näin ollen kaipaa päivittämistä.

Muuntaja 7.2 loistehon kompensointi on päivitetty estokelaparistoihin samoihin aikoihin kuin muuntaja 7.1:n, joten kompensointi toimii siinäkin hyvin. Isommat kompensointiportaat antavat loistehon kasvaa hieman suuremmaksi kuin muuntajalla 7.1, mutta kuormituskin on muuntajalla hieman suurempi. Näin ollen tehokerroinkin on hieman parempi. Estokelaparistot eivät kaipaa päivittämistä.

Kokonaisuutta tarkasteltaessa tehtaan kompensoinnit toimivat hyvin. Osassa muuntamoista loisteho on induktiivista ja osassa kapasitiivista, näin ollen ne kumoavat toisiaan. Liittymän kohdalla olevasta päämittauksesta nähdään että koko verkon osalta loistehokuormat ovat melko vähäisiä, ja verkon tehokerroin on todella hyvällä tasolla. Kuitenkin muutamilla muuntamoilla olevat vanhat kompensointikondensaattorit eivät tule olemaan kovin pitkäikäisiä, joten niiden päivittämistä olisi syytä harkita.

LÄHTEET

Loistehon kompensointi ja yliaaltojen rajoittaminen, 2006
Seesvuori Reino

Yliaallot ja kompensointi, 1999
Männistö Matti; Vitikka Veli-Pekka; Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto

ST-kortisto ST 52.15 – Loistehon kompensointi ja kompensointilaitteet alle 1000V:n pienjänniteverkossa

ST-kortisto ST 52.16 – Yliaaltosuodatinlaitteet ja niiden sijoitus alle 1000V:n pienjänniteverkossa

ST-kortisto ST 52.51.02 – Sähkön laatu. Jännitteenaleneman minimoiminen

ST-kortisto ST 52.51.03 – Sähkön laatu. Harmoniset yliaallot

http://www.leenakorpinen.fi/archive/sahkoverkko/jannitteenalenema_tehohaviot.pdf

D1 - 2012 Käsikirja rakennusten sähköasennuksista

Johdon ja sen ylivirtasuojan mitoitus, 2004
Samk/Tekpo/Erkki Ruppa

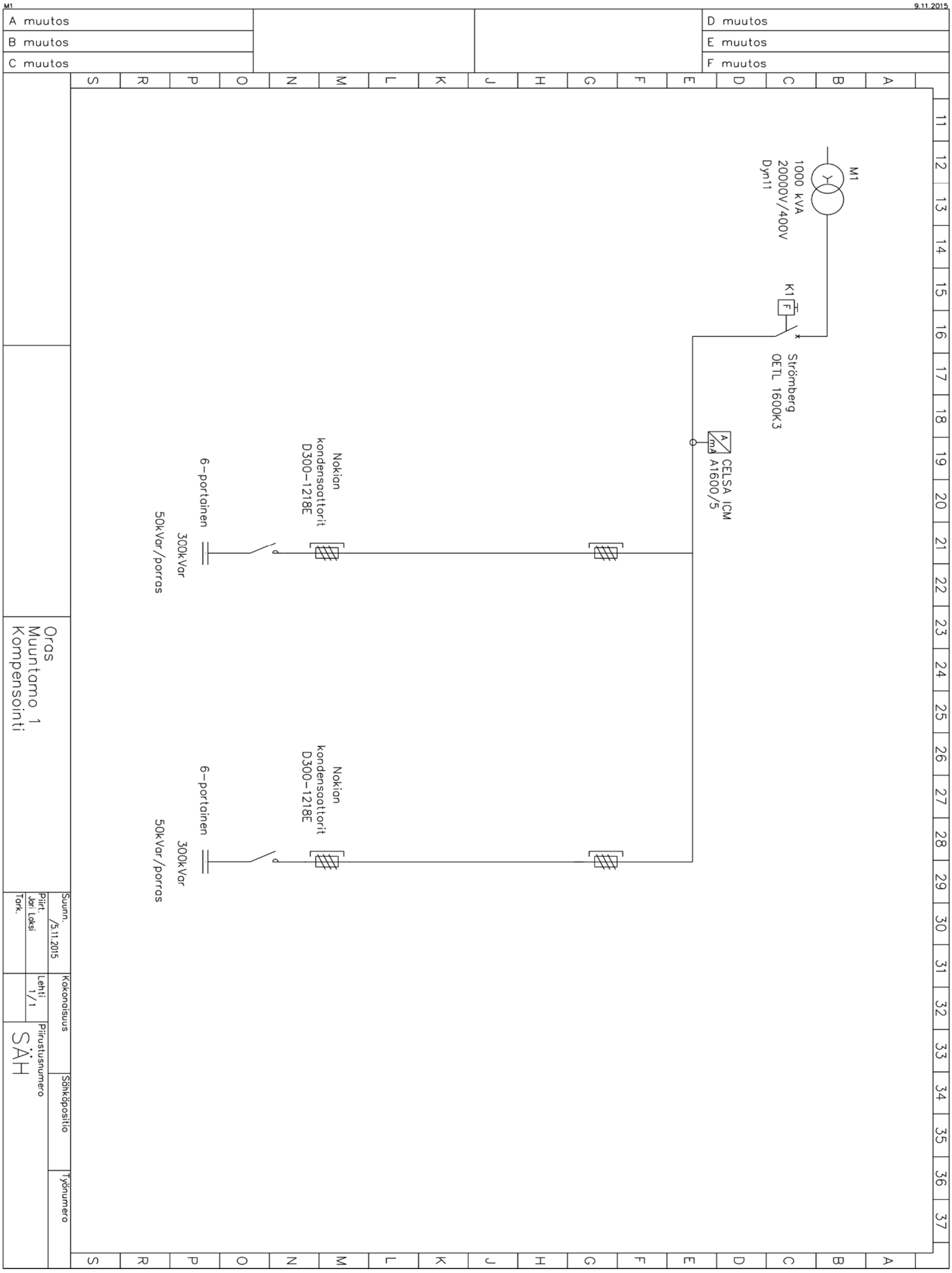
Yliaallot, 2001
Samk/Tekpo/Erkki Ruppa

Yliaallot ja kompensointi, STUL 2006.
http://docplayer.fi/2366777-Arvot-myos-kirjassa-yliaallot-ja-kompensointi-stul-2006.html

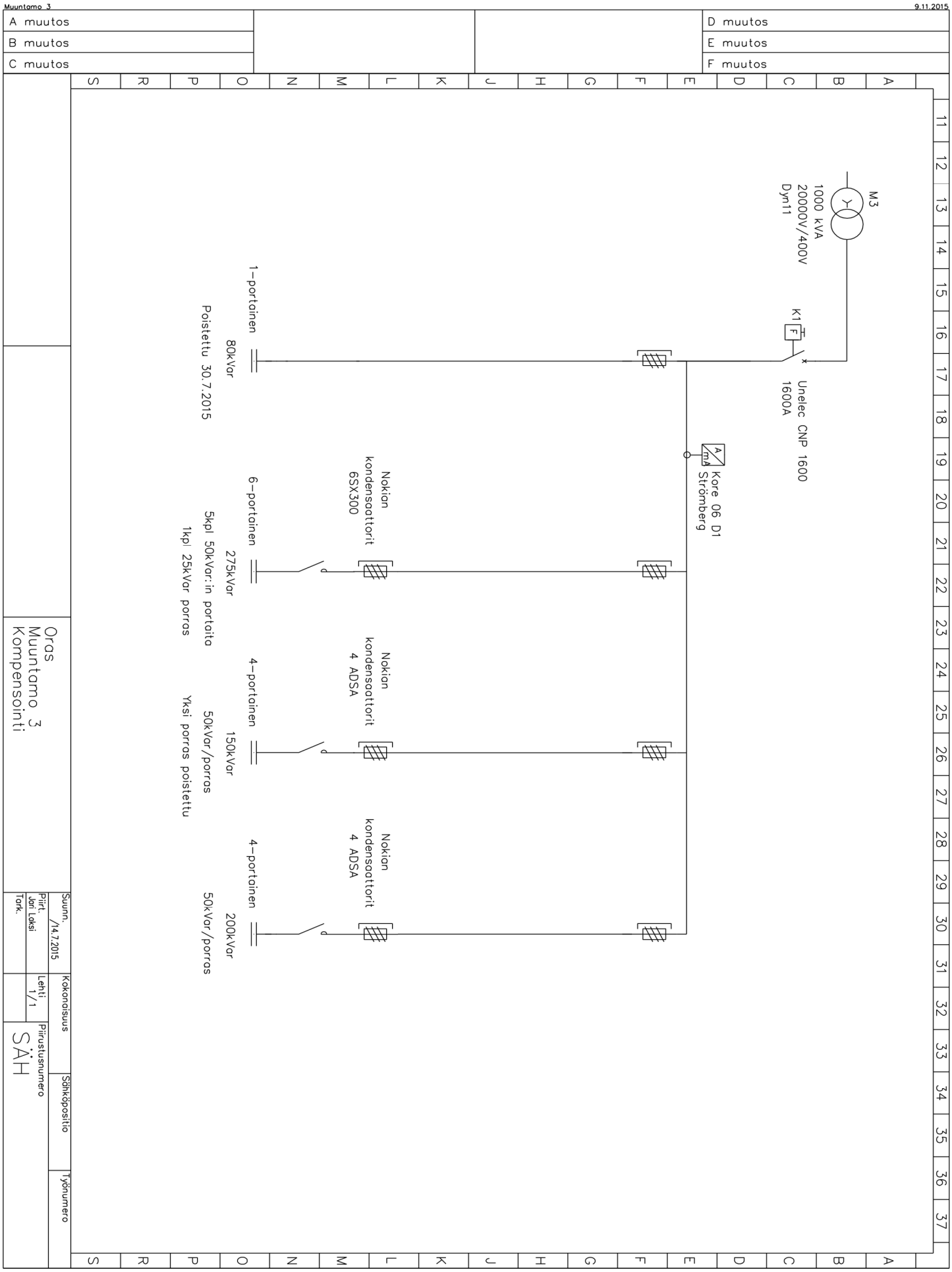
Pasi Väisänen Loistehon kompensointi jakeluverkkoyhtiössä, Diplomityö
https://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/21284/Vaisanen.pdf?sequence=1

Sähköverkon kompensointi
http://www2.amk.fi/digma.fi/www.amk.fi/opintojaksot/030503/1134045922435/1134046524532/1134046634756/1134046693839.html

LIITE 1


M1
9.11.2015
A muutos
B muutos
C muutos
D muutos
E muutos
F muutos
M1
1000 kVA
20000V/400V
Dyn11
K1
Strömberg
OETL 1600K3
CELSA ICM
A1600/5
Nokian
kondensaattorit
D300-1218E
6-portainen
300kVar
50kVar/porras
Nokian
kondensaattorit
D300-1218E
6-portainen
300kVar
50kVar/porras
Oras
Muuntamo 1
Kompensointi
Suunn. /5.11.2015
Piirt. Jari Loksi
Tark.
Kokonaisuus
Lehti 1/1
Piirustusnumero
SÄH
Sähköpositio
Työnumero

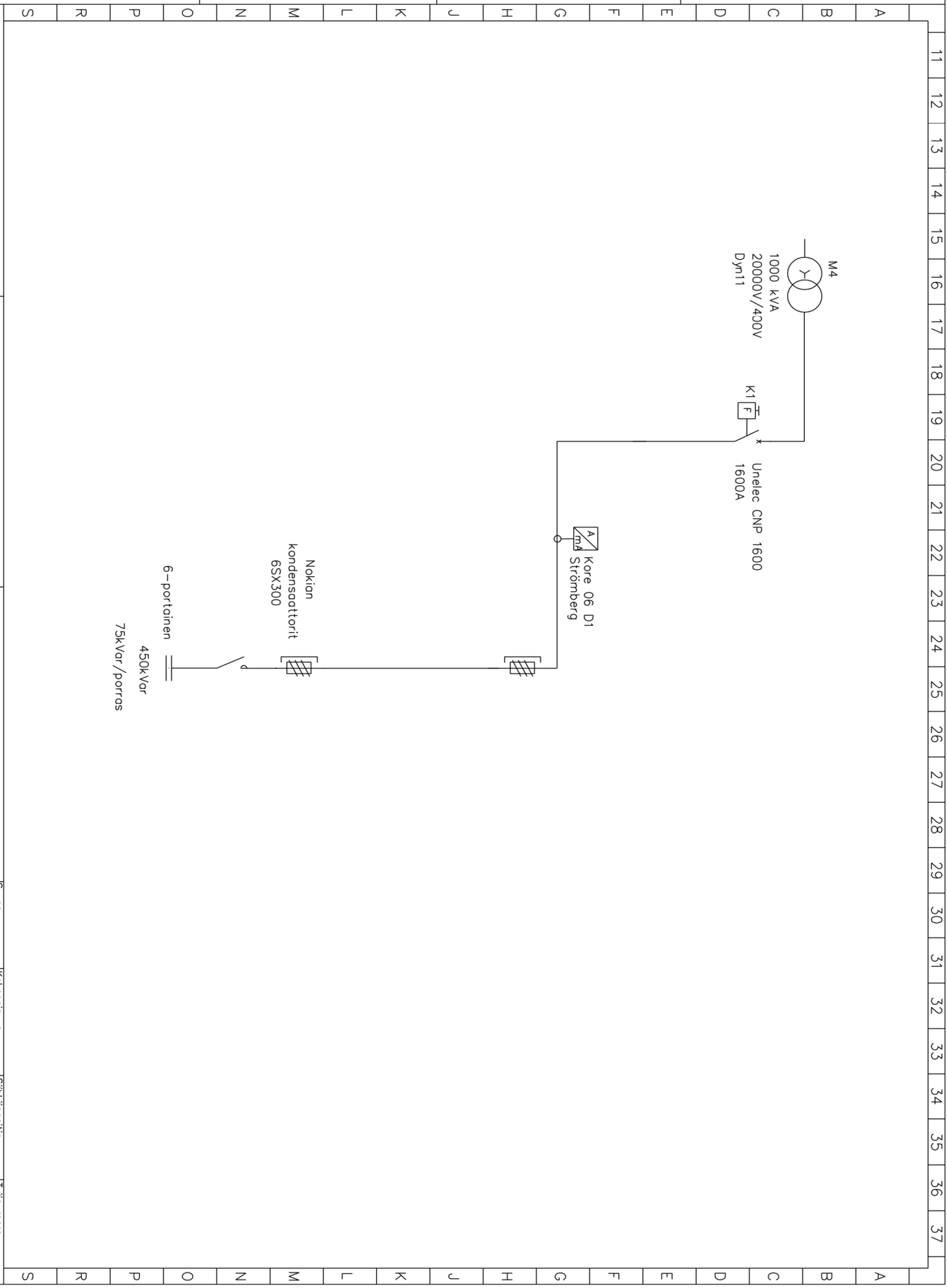
LIITE 2


Muuntamo 3
9.11.2015
A muutos
B muutos
C muutos
D muutos
E muutos
F muutos
M3
1000 kVA
20000V/400V
Dyn11
K1
Unelec CNP 1600
1600A
Kore 06 D1
Strömberg
1-portainen
80kVar
Poistettu 30.7.2015
6-portainen
275kVar
5kpl 50kVar:in portaita
1kpl 25kVar porras
Nokian
kondensaattorit
6SX300
4-portainen
150kVar
50kVar/porras
Yksi porras poistettu
Nokian
kondensaattorit
4 ADSA
4-portainen
200kVar
50kVar/porras
Nokian
kondensaattorit
4 ADSA
Oras
Muuntamo 3
Kompensointi
Suunn. /14.7.2015
Piirt. Jori Laksi
Tark.
Kokonaisuus
Lehti 1/1
Piirustusnumero
SÄH
Sähköpositio
Työnumero

LIITE 3

Muuntamo 4 9.11.2015

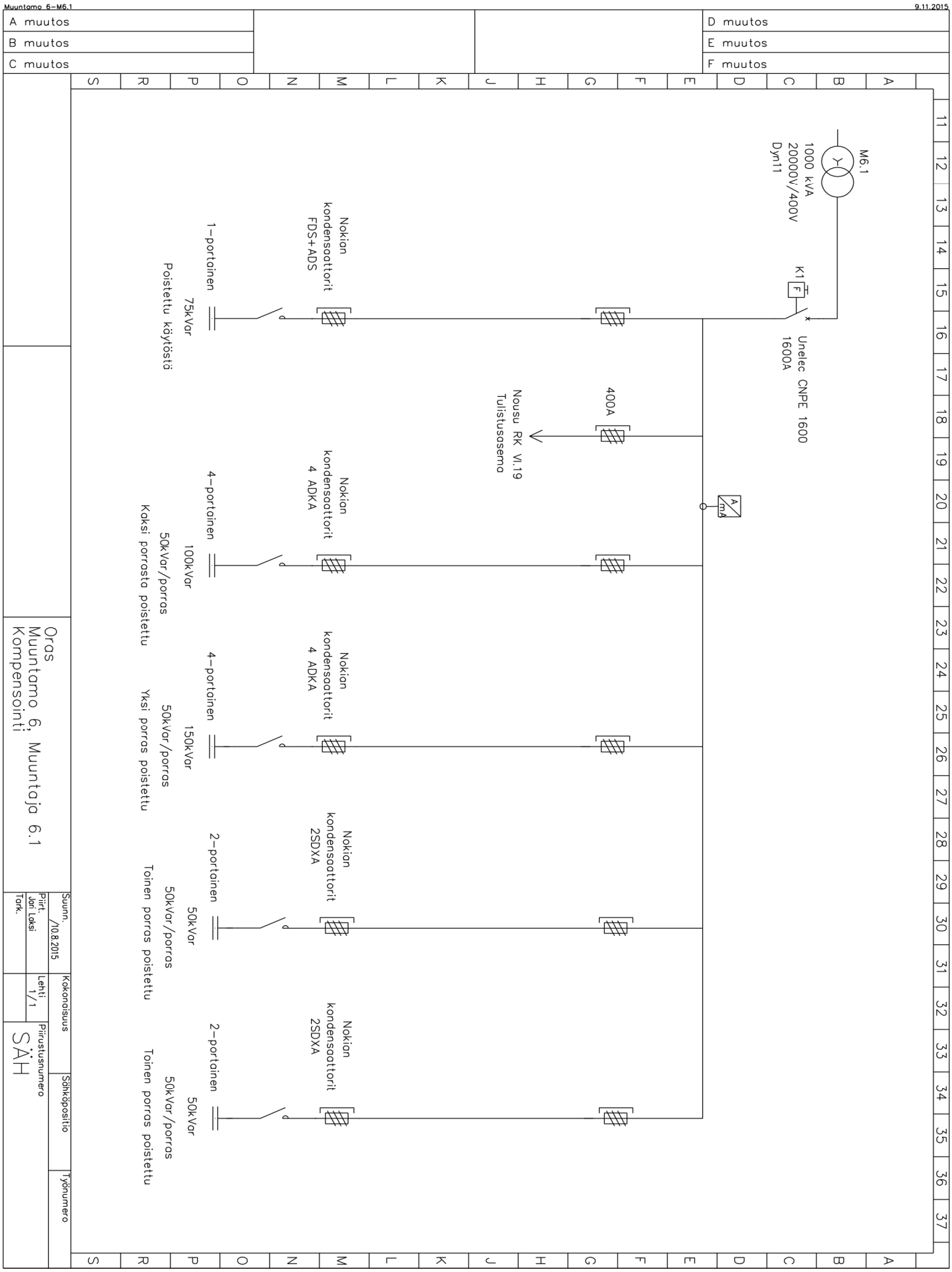
A muutos			D muutos
B muutos			E muutos
C muutos			F muutos



Oras
Muuntamo 4
Kompensointi

Suunn. /15.7.2015
Piirt. Jori Laksi
Tark.
Kokonaisuus
Lehti 1/1
Piirustusnumero
SÄH
Sähköpositio
Työnumero

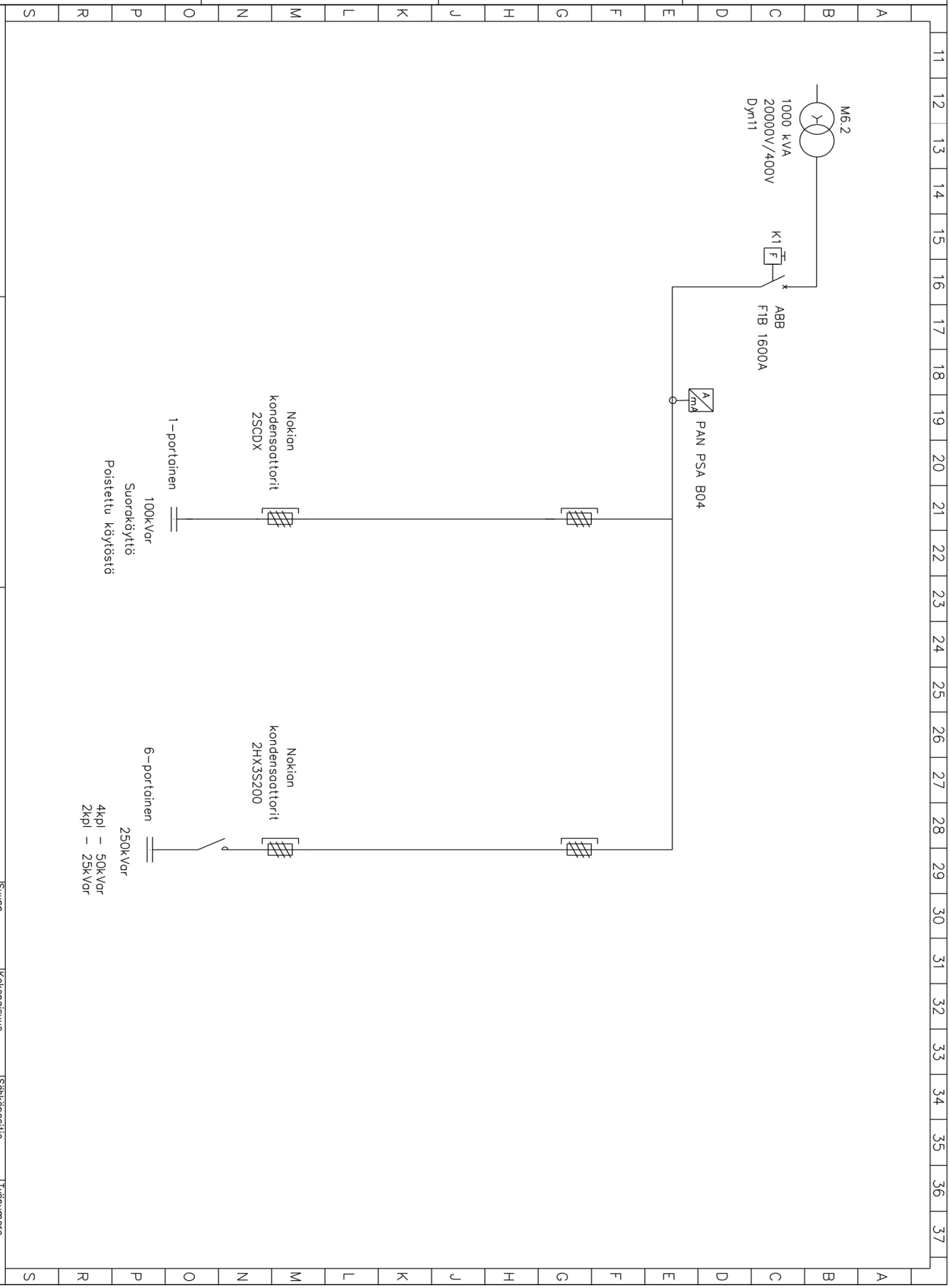
LIITE 4


Muuntamo 6-M6.1
9.11.2015
A muutos
B muutos
C muutos
D muutos
E muutos
F muutos
M6.1
1000 kVA
20000V/400V
Dyn11
K1
Unelec CNPE 1600
1600A
400A
Nousu RK V1.19
Tulistusasema
Nokian
kondensaattorit
FDS+ADS
1-portainen
75kVar
Poistettu käytöstä
Nokian
kondensaattorit
4 ADKA
4-portainen
100kVar
50kVar/porras
Koksi porrasta poistettu
Nokian
kondensaattorit
4 ADKA
4-portainen
150kVar
50kVar/porras
Yksi porras poistettu
Nokian
kondensaattorit
2SDXA
2-portainen
50kVar
50kVar/porras
Toinen porras poistettu
Nokian
kondensaattorit
2SDXA
2-portainen
50kVar
50kVar/porras
Toinen porras poistettu
Oras
Muuntamo 6, Muuntaja 6.1
Kompensointi
Suunn. /10.8.2015
Piirt. Jari Laksi
Tark.
Kokonaisuus
Lehti 1/1
Piirustusnumero
SÄH
Sähköpositio
Työnumero

LIITE 5

AutomTal_1_Muuntamo6-M6.2 13.11.2015

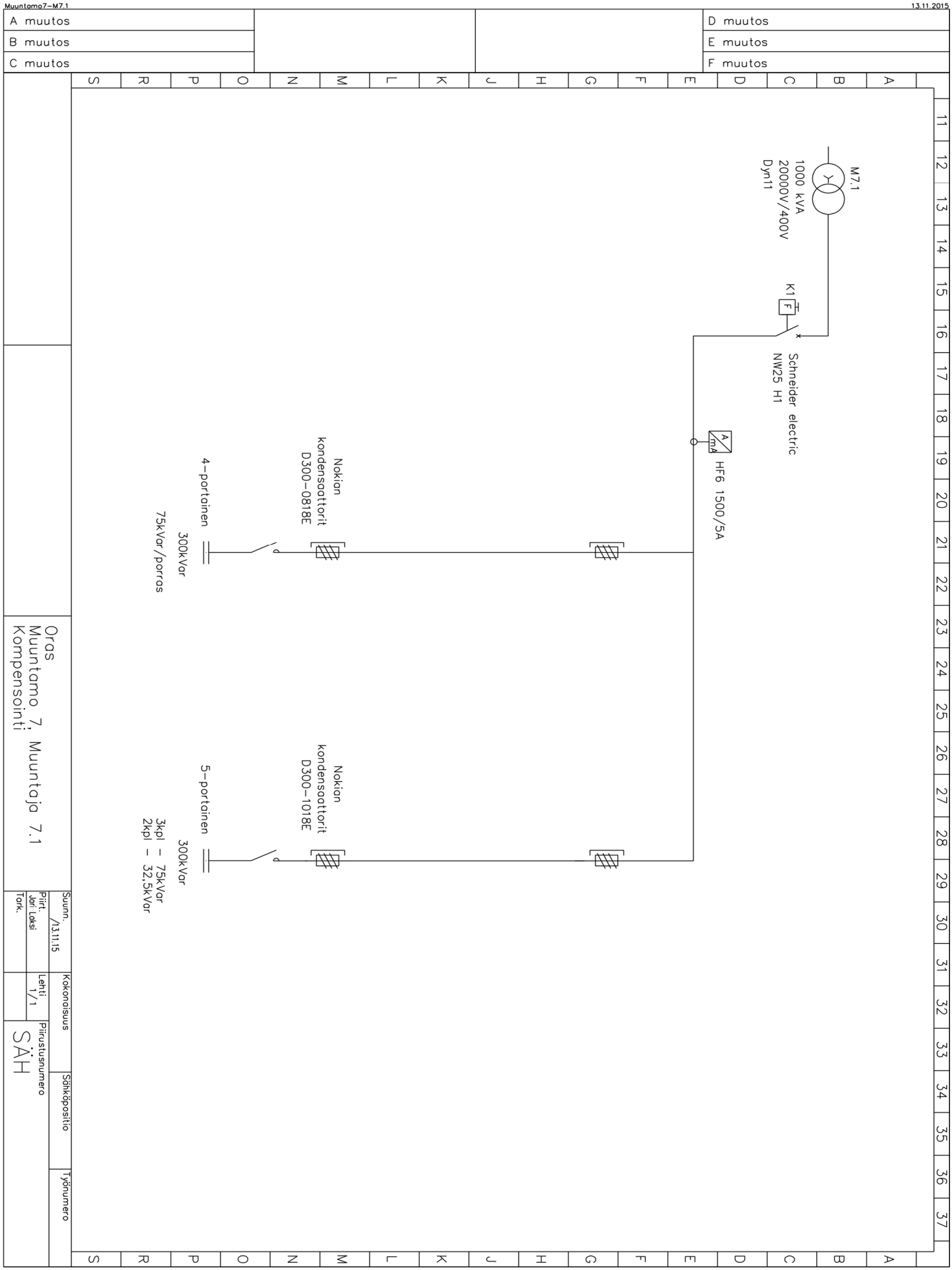
A muutos			D muutos
B muutos			E muutos
C muutos			F muutos



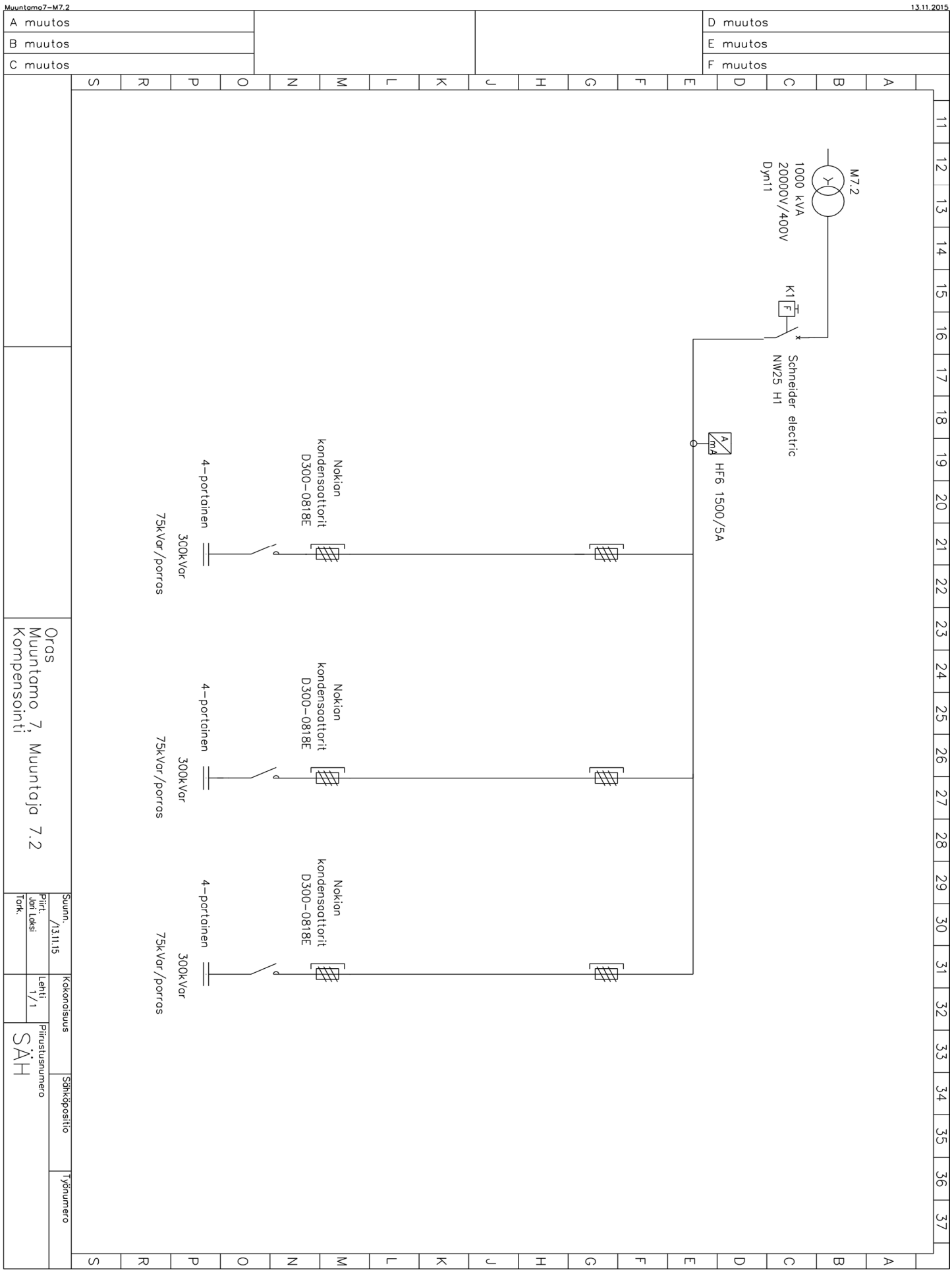
Oras
Muuntamo 6, Muuntaja 6.2
Kompensointi

Suunn. /13.11.15	Kokonaisuus		
Piirt. Jari Loksi	Sähköpositio		
Tark.	Lehti 1/1	Piirustusnumero SÄH	Työnumero

LIITE 6


Muuntamo7-M7.1
13.11.2015
A muutos
B muutos
C muutos
D muutos
E muutos
F muutos
M7.1
1000 kVA
20000V/400V
Dyn11
K1
Schneider electric
NW25 H1
HF6 1500/5A
Nokian
kondensaattorit
D300-0818E
4-portainen
300kVar
75kVar/porras
Nokian
kondensaattorit
D300-1018E
5-portainen
300kVar
3kpl - 75kVar
2kpl - 32,5kVar
Oras
Muuntamo 7, Muuntaja 7.1
Kompensointi
Suunn.
/13.11.15
Piirt.
Jor. Loksi
Tark.
Kokonaisuus
Lehti
1/1
Piirustusnumero
SÄH
Sähköpositio
Työnumero

LIITE 7


Muuntamo7-M7.2
13.11.2015
A muutos
B muutos
C muutos
D muutos
E muutos
F muutos
M7.2
1000 kVA
20000V/400V
Dyn11
K1
Schneider electric
NW25 H1
HF6 1500/5A
Nokian
kondensaattorit
D300-0818E
4-portainen
300kVar
75kVar/porras
Oras
Muuntamo 7, Muuntaja 7.2
Kompensointi
Suunn.
/13.11.15
Piirt.
Jori Laksi
Tark.
Lehti
1/1
Kokonaisuus
Piirustusnumero
SÄH
Sähköpostio
Työnumero